

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет автоматизації і інформаційних технологій
Кафедра автоматизації технологічних процесів**
(назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

Автоматизація систем моніторингу інженерних мереж будівлі

Ракович Микита Сергійович

(прізвище, ім'я та по батькові студента повністю)

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет автоматизації і інформаційних технологій
Кафедра автоматизації технологічних процесів**
(назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Андрій ЗАПРИВОДА

«___» _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Автоматизація систем моніторингу інженерних мереж будівлі
(назва)

Виконав студент групи _____

174. Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані
технології та
робототехніка

(спеціальність)

Автоматизація управління
технологічними процесами

(спеціалізація)

Ракович Микита Сергійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Керівник Запривода А.В.

(прізвище та ініціали)

зав. кафедри, к.т.н.

(вчене звання, науковий ступінь)

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації технологічних процесів

Освітній рівень: магістр за ОПП

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка

Спеціалізація: Автоматизоване управління технологічними процесами

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Андрій ЗАПРИВОДА

«__» _____ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Ракович Микита Сергійович

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи Автоматизація систем моніторингу інженерних мереж
будівлі

затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від «__» _____ 20__ року

2. Керівник роботи

Запривода А.В., к.т.н., завідувач кафедри

(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту _____

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р.1. Аналіз існуючих рішень по автоматизації та диспетчеризації
інженерних систем.

Р.2. Аналіз об'єкту автоматизації.

Р.3. Розробка системи моніторингу інженерних систем будівлі з
використанням розподіленої обчислювальної парадигми.

Р.4. Економічний розділ.

5. Графічний матеріал за розділами

Р.1. План квартири з розташуванням обладнання.

Р.2. Схема підключення обладнання до граничного пристрою квартири.

Р.3. План поверху з розташуванням обладнання.

Р.4. Схема підключення обладнання до граничного пристрою будинка.

6. Календарний план виконання роботи:

а) наукова частина; б) практична частина.

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Аналіз існуючих рішень по автоматизації та диспетчеризації інженерних систем	15.08.2024
Розділ 2. Аналіз об'єкту автоматизації.	27.08.2024
Розділ 3. Розробка системи моніторингу інженерних систем будівлі з використанням розподіленої обчислювальної парадигми.	25.09.2024
Розділ 4. Економічний розділ	09.10.2024
Остаточне оформлення роботи	22.10.2024
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	06.11.2024
Попередній захист роботи на кафедрі	13.11.2024

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			

8. Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Здобувач

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕЗЮМЕ / RESUME

Ракович Микита/Rakovich Nikita

факультет автоматизації і інформаційних технологій /
faculty of automation and information technologies,

група _____ / group of _____

Тема атестаційної випускної роботи: / Theme of attestation final work:

«Автоматизована система моніторингу інженерних систем будівлі з використанням розподіленої обчислювальної парадигми» / «Automation of building engineering network monitoring system»

Освітній рівень: «магістр» / Educational level: master's degree.

Спеціальність: 174.«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / Specialty: 174.«Automation, computer-integrated technologies and robotics»

Спеціалізація: «Автоматизоване управління технологічними процесами» / Specialization: «Automated management of technological processes».

Науковий керівник: Заприво́да А.В., к.т.н., зав. кафедри

Scientific leader: Associate professor;
Zapryvoda A.V., candidate of engineering sciences

Обсяг роботи. Атестаційна випускна робота магістра складається: розділів – __, стор. – __ (з додатками), табл. – __, рис. – __, завдання, вступ, висновки, список використаних джерел інформації.

Актуальність теми. Кількість виробленої інформації з розумних датчиків, пристроїв, шаф автоматики збільшується кожен день, а передача інформації до хмари займає велику кількість часу та коштів. Тому необхідно перенести обробку інформації до «границі». Границя може знаходитись будь де, будь то розумний датчик або периферійний пристрій обчислень - це

зменшити час на обробку та передачу інформації та збільшити можливості системи.

У вступі розповідається про те що інженерні системи коштують дорого, експлуатація таких систем потребує кваліфікованого обслуговуючого персоналу що призводить до великих витрат. З метою підвищення експлуатаційних якостей інженерних мереж і зменшення чисельності необхідного персоналу що її обслуговує нині застосовується дистанційний і автоматизований контроль основних видів інженерного обладнання. Такі системи обробляють великий обсяг інформації, яку виробляють датчики та прилади. Обсяг даних таких систем доходить до сотні гігабайтів в день, тому виникає необхідність обробляти дані біля їх джерел виникнення, щоб зменшити навантаження на мережу та вартість обробки. Для цієї мети використовують граничні обчислення, які роблять систему гнучкою до змін, зменшують час на обробку інформації та збільшують життєвий цикл інженерних мереж.

У першому розділі «Аналіз існуючих рішень по автоматизації та диспетчеризації інженерних систем» висвітлені наступні питання: процес автоматизації будівель, впровадження Building management system (BMS, в пер. з англ. – система управління будівлею), кейси впровадження BMS у світі, існуючі рішення з аналізу даних систем управління будівлею. Було визначено що наявні методи аналізу даних є застарілими, дорогими та мають затримки при передачі даних від місця збору до місяця обробки. Також наведено про новітню технологію обробки даних за допомогою граничних пристроїв, їх переваги та недоліки.

У другому розділі «Аналіз об'єкту автоматизації» висвітлені наступні питання: використання технологій при будівництві та перебудові, було проаналізовано житлові будівлі які підпадають під перебудову або переобладнання. Так забудови з 1800 до 1917 років є пам'яткою історії та/або архітектури. Впровадження граничних обчислень крайнє необхідне, адже швидкість реакції системи моніторингу за станом будівлі, дозволить вчасно виявити проблеми та причину їх виникнення.

Забудови з 1933 року до початку 1960-х років які підлягають модернізації, мають типові проблеми, такі як: система опалення, водопостачання та каналізації, які залишилися з часів будівництва будинку. Впровадження граничних обчислень допоможе скоротити час на модернізацію будівлі. Аналіз бази даних, яку буде отримано після впровадження, допоможе краще визначати будівлі під модернізацію. У цей час будівля буде використовувати на 20-30% менше енергії, що дозволить окупити систему.

Забудови з 1956 до 1973 року - являють собою багатоквартирні будинки, що зводились за типовими проектами в стилі функціоналізму. Типові проблеми, які притаманні таким будівлям, – це опалення та каналізація вмонтовані в стіни, немає підвалів, застаріла проводка, а шви на фасадах розходяться. Перебудова дозволить впровадити граничні обчислення в повному обсязі. Швидка передача даних до структур теплоканалу та водоканалу, в цей час, доступ до даних керуючої компанії будинку. Швидка реакція на поломки та нестандартні ситуації. Впровадження такої системи, під час перебудови, дозволить економити до 40% споживаної енергії.

Новобудови – такі будівлі потрібно поділити на декілька типів за роками побудови. Так як, вони складаються з модернізованих проектів панельних хрущовок, монолітно-панельних, цегляно-монолітних. Такі будівлі будувались у проміжок часу між 1970-2000 роках. Період експлуатації таких забудов від 50 до 150 років, це означає що реалізація граничних обчислень є крайнє необхідною. Така система дозволить економити енергоресурси, збільшити період експлуатації інженерних мереж та зменшити кількість аварійних ситуацій. Новобудови - побудовані після 2000 року. Такі будинки мають усі необхідні комунікації, розвинену інфраструктуру, звукоізоляційні та теплоізоляційні властивості, наявність охорони та систем відеоспостереження по периметру, транспортна доступність. Основні проблемами новобудов - це швидкість обробки інформації, своєчасний відгук на поломки, та диспетчеризація основних інженерних мереж. Впровадження граничних обчислень може запобігти аварійним ситуаціям. Також можливість

розподілення інформації покращує системи передачі даних із лічильників, як в сервіси водоканалу, теплоенерго, так і в обслуговуючі компанії одночасно, або за запитом.

У третьому розділі «Розробка системи моніторингу інженерних систем будівлі з використанням розподіленої обчислювальної парадигми» висвітлені наступні питання: розподіл граничних пристроїв на категорії; застосування граничних пристроїв у новобудовах з розподілом на категорії: квартирні, будинкові, для використання у місті; впровадження граничних обчислень для модернізації застарілих будівлях.

Було розроблено плани та схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до квартирної пристрою граничних обчислень, порівняли використання граничних пристроїв та використання хмар для обробки та зберігання інформації. Також було розроблено плани, схеми та порівняльні таблиці для будинкової пристрою граничних обчислень. В розділі розповідається про використання граничних пристроїв при реалізації мистери розумного міста. Наведено можливості такої системи.

Було проаналізовано можливість капітального ремонту чи реконструкції у застарілих будівлях, визначено що будівлі з показником фізичного зносу до 40% можна модернізувати та впроваджувати граничні обчислення для поліпшення життєдіяльності людини. Наведено етапи впровадження граничних обчислень під час модернізації граничного пристрою. Показано як граничні пристрої допоможуть в аналізуванні даних, які потім можна буде використати для здешевлення ремонту чи реконструкції типових будівель.

У четвертому розділі «Економічний розділ» висвітлені наступні питання: розрахунок вартості реалізації системи; розрахунок вартості спожитої електроенергії за 1 рік. Окупність системи в новобудові при використанні граничного пристрою, можливо завдяки зниженню ціни на обробку даних та місці зберігання.

У висновках роботи наголошується наступне: роботі розглянуті питання створення системи автоматизації та диспетчеризації основних інженерних

мереж будинку з використанням технології «граничні обчислення». Також в роботі було відображено використання технології граничних обчислень у квартирі та запропоновано спосіб модернізації застарілих будівель за допомогою даних які були проаналізовані граничним пристроєм.

В ході виконання роботи було проаналізовано велику кількість сучасних методів обробки та зберігання даних, в результаті чого, для використання в даній дипломній роботі було обрано спосіб граничних обчислень, який повністю відповідає вимогам подібних систем, а також має достатню кількість застосувань у світі, аби почати впровадження в Україні. Така система є гнучкою до змін та вона вирішує питання які піднімаються при зміні постачальників ресурсів.

У роботі було розроблено схеми розміщення та підключення граничного пристрою до датчиків IoT та шаф автоматики інженерних систем будинку. Наведені переваги граничних обчислень над хмарними, зроблено підбір основних квартирних та будинкових приладів автоматизації та диспетчеризації.

В економічному розділі було розраховано вартість реалізації проекту та строки окупності системи. Окупність будинкової системи можливе протягом 9 років, але при розрахунках не було використано кількість збереженої енергії, що передбачується, завдяки впровадженню граничного пристрою. Так як ці дані індивідуальні до кожного об'єкту, тому кількість років окупності може бути зменшена на 10-30%.

Ключові слова: система управління будівлею, система автоматизації будівлі, інженерні системи будівлі, хмарні обчислення, туманні обчислення, граничні обчислення інтернет речей, штучний інтелект, безпека, модернізація будівель, перебудова.

Keywords: building management system, building automation system, building engineering systems, internet of things, cloud computing, fog computing, edge computing, artificial intelligence, security, modernization of buildings, reconstruction.

Зміст

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ	11
Вступ.....	12
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ПО АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ.....	14
1.1 Новітні технології для автоматизації будівель	15
1.2 Існуючі рішення по аналізу даних з систем управління будівлею	19
1.3 Використання сучасних технологій при будівництві та перебудові	33
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	36
2.1 Утримання, ремонт та модернізація багатоквартирного будинку	37
2.2 Аналіз житлових будівель під перебудову або переобладнання	38
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗПОДІЛЕНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ПАРАДИГМИ	46
3.1 Розробка системи моніторингу інженерних систем у новобудові.....	46
3.2 Граничні обчислення для модернізації застарілих будівель	73
3.3 Алгоритм аналізу даних за допомогою граничних обчислень.....	83
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	88
4.1 Розрахунок вартості реалізації	88
4.1 Розрахунок строків окупності системи	89
Висновок.....	91
Список використаних джерел.....	92
Додаток 1	95
Додаток 2	96
Додаток 3	97
Додаток 4	98

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

- BMS, Building management system – Система управління будівлею;
- BAS, Building automation system – Система автоматизації будівлі;
- IoT, Internet of things – Інтернет речей;
- SCM, Supply Chain Management – Управління ланцюгом поставок;
- ERP, Enterprise Resource Planning System – Система планування ресурсів підприємства;
- SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління і збір даних;
- AI, Artificial intelligence – штучний інтелект;
- IR – Інфрачервоний приймач;
- ЦОД – Центр обробки даних;
- ПЛК – Програмований логічний контролер;
- ЦТП – Центральний тепло пункт.

Вступ

У сучасному світі я будь-якій будівлі та споруді існує ряд інженерних систем, створених для комфортної, безпечної та надійної експлуатації. При будівництві на інженерні мережі в середньому витрачається близько 40% загальної вартості будівлі. Експлуатація мереж таких будівель вимагає кваліфікованого обслуговуючого персоналу і в загальних річних витратах становить близько 50%. З метою підвищення експлуатаційних якостей інженерних мереж і зменшення чисельності необхідного персоналу що обслуговує нині застосовується дистанційний і автоматизований контроль основних видів інженерного обладнання. Також система повинна бути гнучкою до змін, та мати можливість змінювати постачальників ресурсів без підвищення вартості.

В сучасних та відновлених будівлях для диспетчеризації інженерних мереж використовують системи управління будівлями. Такі системи обробляють великий обсяг інформації, яку виробляють датчики та прилади. Обсяг даних таких систем доходить до сотні гігабайтів в день. Обробка даних дозволяє отримувати попередження про аварії, контролювати споживання енергоресурсів, забезпечувати безперебійне функціонування обладнання, виявляти несправності інженерного обладнання на ранніх стадіях з мінімізацією матеріальних збитків.

З кожним роком кількість даних стає все більше, час обробки таких обсягів також збільшується, тому виникає необхідність обробляти дані біля їх джерел, щоб зменшити навантаження на мережу та вартість обробки. Для цієї мети використовують так звані «граничні обчислення», які роблять систему гнучкою до змін, зменшують час на обробку інформації та збільшують життєвий цикл інженерних мереж.

Метою роботи є створення системи автоматизації інженерних мереж, з використанням технології граничних обчислень. Що дозволить зменшити час на впровадження, зменшити час на відгук, бути гнучкою до змін та дозволить економити енергоресурси.

РОЗДІЛ 1

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ПО АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

З метою підвищення експлуатаційних якостей інженерних мереж і зменшення чисельності необхідного персоналу що обслуговує нині застосовується дистанційний і автоматизований контроль основних видів інженерного обладнання [1]. Системи автоматизованого контролю можуть управляти інженерним обладнанням за допомогою спеціальних диспетчерських пунктів, які зазвичай об'єднують групу (комплекс) будівель або споруд.

Інженерне обладнання будівлі - це комплекс технічних пристроїв, спрямованих на забезпечення сприятливих побутових умов в житлових і громадських будівлях.

Інженерне обладнання будинків і споруд містить системи:

- вентиляції та кондиціонування;
- каналізації;
- водопостачання холодної та гарячої води;
- опалення;
- газопостачання;
- пожежогасіння;
- телефонії та радіофікації;
- системи контролю доступу та відеоспостереження.

Кожна з цих систем є автономною, однак при виході з ладу, життєдіяльність та комфорт мешканців погіршується. Для того, аби вони функціонували у нормальному режимі, інженерні системи необхідно постійно контролювати. Усе це потребує значних витрат часу та робочої сили.

Диспетчеризація інженерних систем дозволяє значно скорочувати як час на їхнє обслуговування, так і необхідність великої кількості персоналу що обслуговує [1]. Автоматизація будівель комерційної та побутової спрямованості дозволяє об'єднати усі диспетчерські функції в одному місці та

забезпечити постійний контроль усіх інженерних систем. Єдиний інтелектуальний центр не лише надає можливість контролювати усі інженерні системи, але й керувати ними.

1.1 Новітні технології для автоматизації будівель

Для забезпечення оптимальних режимів роботи та мінімізації ризиків, пов'язаних із виходом із ладу обладнання, відмовою критичних систем, виникненням небезпеки для життя людей впроваджується BMS.

Система управління будівлею (BMS)

Building management system (BMS, в пер. з англ. – система управління будівлею) – комплекс систем автоматизації, диспетчеризації та моніторингу інженерних систем будівель і споруд, який дозволяє вирішувати завдання оперативного контролю та управління станом технологічних систем житлових будинків, торговельно-розважальних комплексів, готелів та інших об'єктів [2].

BMS виконує наступні функції:

- контроль стану і управління виконавчими механізмами і параметрами інженерних систем, підтримка заданого режиму роботи інженерних систем;
- контроль і облік споживаних енергоресурсів із можливістю виявлення випадків неефективного використання ресурсів;
- забезпечення безперебійного функціонування обладнання;
- виявлення несправностей і небезпечних ситуацій на ранніх стадіях із мінімізацією матеріальних збитків і мінімізації загрози людським життям;
- забезпечення своєчасного планового профілактичного ремонту обладнання і відстеження реальних робочих характеристик обладнання та технологічних вузлів;
- збір статистичної інформації, створення звітів і надання в інтуїтивно-зрозумілій для користувача формі;

- скорочення матеріальних витрат на утримання і управління інженерними системами будівель і споруд.

Система управління будівлею (BMS), також відома як система автоматизації будівлі (BAS), належить до комп'ютерної системи управління, яка повинна бути встановлена в будівлях для моніторингу та регулювання електричного і механічного обладнання будівлі, такого як енергосистема, освітлення і вентиляція.

Підключені системи до BMS, зазвичай складають 40% енергоспоживання будівлі, цей відсоток наближається до 70% у разі ввімкненого освітлення [2]. Установка BMS необхідна, оскільки вона управляє критичними елементами для розумного управління споживанням енергії. У результаті, за допомогою BMS, управління будівлею вимагає електронного централізованого регулювання систем кондиціонування, вентиляції, опалення, освітлення та інших систем будівлі.

Підключені системи до BMS, зазвичай складають 40% енергоспоживання будівлі, цей відсоток наближається до 70% у разі ввімкненого освітлення. Установка BMS необхідна, оскільки вона управляє критичними елементами для розумного управління споживанням енергії. У результаті, за допомогою BMS, управління будівлею вимагає електронного централізованого регулювання систем кондиціонування, вентиляції, опалення, освітлення та інших систем будівлі [3].

Цілі BMS полягають у збільшенні життєвого циклу інженерних мереж, зниження експлуатаційних витрат і споживання енергії, ефективну роботу систем будівлі й комфорт мешканців. Створення розподіленої системи управління - велика робота по проектування та монтажу комп'ютерної мережі приладів автоматизації, які повинні бути структуровані для управління і моніторингу інженерних систем. Таким чином, основні функції BAS повинні полягати в підтримці мікроклімату в будівлі в заданому діапазоні, подачі сигналів тривоги про несправності обслуговуючому персоналу будівлі, моніторингу відмов і працездатності пристроїв у всіх системах будівлі, а також

подачі освітлення в приміщення на основі розкладу зайнятості. У порівнянні з неконтрольованими будівлями, BAS знижує енергоспоживання будівлі та витрати на обслуговування, тому більшість Європейських промислових, інституційних і комерційних будівель, побудованих після 2000 року, включають BMS, аналіз яких застосовують для перебудови застарілих будівель. Результатом роботи BMS є кілька застарілих будівель, які були модернізовані за допомогою нової СКУД, за рахунок страхівки й економії енергії, а також інших заощаджень, пов'язаних із виявленням несправностей і випереджувальним обслуговуванням.

BMS у поєднанні з бездротовими системами моніторингу та управління значно краща система у порівнянні з існуючими рішеннями, що використовуються. Однак ці системи, дійсно, генерують значні обсяги даних, які необхідно контролювати, реєструвати та аналізувати. У комерційних або промислових умовах зібрані дані передаються керівнику об'єктів, який аналізує дані та оперативно приймає рішення на основі зібраної інформації. Зараз зростає ринок програмних рішень, які забезпечують аналіз даних і подають їх у форматі, який легко і швидко зрозуміти [3]. На панелі керування можна відстежувати дані з найрізноманітніших джерел, а потім відобразити їх на екрані, у графічному та кольоровому інтерфейсі, щоб користувач міг швидко виявити та усунути будь-які проблеми чи відхилення у роботі підконтрольної системи.

Система управління будівлею була впроваджена в клініці Челліні та введена в експлуатацію в режимі реального часу. З 2010 року Загальне споживання електроенергії в компанії Humanitas Cellini скоротилося з 3100 до 2100 МВт на рік, завдяки BMS. У період з 2010 по 2019 рік сестринська лікарня Humanitas Gradenigo скоротила споживання електроенергії на 27% в рік. Ці скорочення частково зумовлені інженерними змінами, такими як технічне обслуговування ОВК, а також модернізація систем охолодження та теплообмінників. Важливим аспектом було створення графіків планування роботи кондиціонерів та кривих теплової компенсації. Планування цих заходів

з опалення, вентиляції та кондиціонування повітря можливе лише за наявності точної та ефективної системи, спрямованої на перспективу.

Це стало можливим завдяки системі прогнозування, яка дозволяє людям заздалегідь дивитися на сценарії та робити вибір щодо них. Повідомлення про майбутні наслідки сьогоднішнього вибору дозволило об'єктивно прийняти рішення на користь зменшення споживання електроенергії [3].

Система прогнозування навантаження, у поєднанні з управлінням може призвести до скорочення споживання електроенергії в будівлі на третину.

Кейси впровадження BMS у світі

Великобританія

Великобританія абсолютний лідер із застосування BMS. Це стало можливим завдяки підтримці на рівні держави: з 2016 року всі бюджетні будівельні проекти зобов'язані застосовувати BMS. Так, як пробну реалізацію технології використовують для проекту Міністерства Юстиції — у в'язниці Кукхем Вуд у Кенті. І це дозволило суттєво скоротити витрати.

У Шотландії, компанією Aimteq було встановлено бездротові системи керування енергією в будівлях та станціях залізничної мережі TransPennine Express допомогло усунути надмірні витрати енергії в будівлі, залах очікування та касах. Використовуючи модульну систему – спеціаліст із встановлення, обслуговування та оптимізації обладнання BEMS – зміг керувати системами кондиціонування та освітлення, а також газовими котлами та електричним опаленням, щоб забезпечити споживання енергії лише тоді, коли необхідно. Віддалений моніторинг та керування системою тепер надається через послуги бюро Aimteq.

TransPennine Express, що входить до складу FirstGroup, є міжміським поїздом, який надає залізничні послуги клієнтам по всій Шотландії. Після впровадження BMS, компанія побачила результат – зниження кількості використання енергії, що дозволяє ці кошти інвестувати у нові послуги, нові потяги та інше.

США

У США в Управлінні загальних служб склала програму BMS для всіх проектів з обслуговування громадських будівель з 2003 року. Сьогодні США близько 72% будівельних фірм використовують технологію для значної економії коштів у проектах. Ряд американських штатів, університетів та приватних організацій також застосовують BMS. Так, штат Вісконсін зробив обов'язковим застосування BMS для державних проектів.

Франція

У Франції вже півмільйона будинків, спроектованих з використанням BMS. З 2017 року уряд країни впровадило BMS у житловому секторі на 500 000 будинків. Робоча група Le Plan Transition Numérique dans le Bâtiment відповідає за французьку стратегію BMS, яка має на меті забезпечити екологічність і знизити витрати.

Німеччина

У Німеччині також уряд впливає на просування технології BMS. Акцент робиться більше на комерційні та житлові будинки, щоб до 2023 року впровадити BMS у всі інфраструктурні проекти.

Іспанія

В Іспанії BMS застосовується для проектів державного сектора з 2018 року, а з 2019 – обов'язкове використання технології житлових проектах. Була створена окрема Комісія для сприяння впровадженню BMS у будівельний сектор Іспанії.

1.2 Існуючі рішення по аналізу даних з систем управління будівлею

Інтелектуальні критичні системи, орієнтовані на дані, вважаються масштабними, просторово розподіленими, складними системами, що складаються з величезної кількості неоднорідних фізичних апаратних та програмних компонентів. Такі системи не є ізольованими, а є взаємопов'язаним через складну мережеву інфраструктуру та взаємозалежними на кількох рівнях. У сучасному суспільстві безперервна робота цих критичних систем є ключовою задачею для забезпечення основних

комунальних послуг. Шкідливі атаки та навмисні збої в роботі системи можуть спричинити значні наслідки в регіональному або національному масштабі. Це створює нові наслідки та проблеми для інженерії безпеки систем.

На сьогоднішній день існує багато обчислювальних систем та програм які повинні бути спроектовані так, щоб вони могли впоратися з чотирма проблемами великих даних: обсягом, різноманітністю, правдивістю та швидкістю. У цьому контексті важливою властивістю таких систем є надійність. Надійність - це показник доступності, якості, часу відгуку, довговічності, безпеки та інших аспектів системи [3]. Надійність добре зарекомендувала себе як важлива властивість науки про послуги та інженерії систем; проте системи, орієнтовані на дані, можуть мати деякі специфічні вимоги через різноманітність технологій, які все ще дозрівають та розвиваються. У наш час, більшість обчислень даних проходять у хмарі [4].

Хмарні обчислення - це технологія, яка дозволяє зберігати та обробляти дані віддалено в «хмарі». Приклад роботи хмарних обчислень з різними пристроями показано на рис. 1.1. Для цього використовуються центри обробки даних (ЦОД). Компанії, яка застосовує хмарні технології, не обов'язково створювати свою IT-інфраструктуру - все необхідне їй може надати провайдер. Потрібен тільки доступ в інтернет, щоб відкрити сайт або додаток. Такі служби прискорюють впровадження інновацій, підвищують гнучкість ресурсів і забезпечують економію завдяки високій масштабованості. Зазвичай клієнт платить тільки за хмарні послуги, які дозволяють скоротити експлуатаційні витрати, а також підвищити ефективність управління інфраструктурою і масштабування в міру зміни потреб.

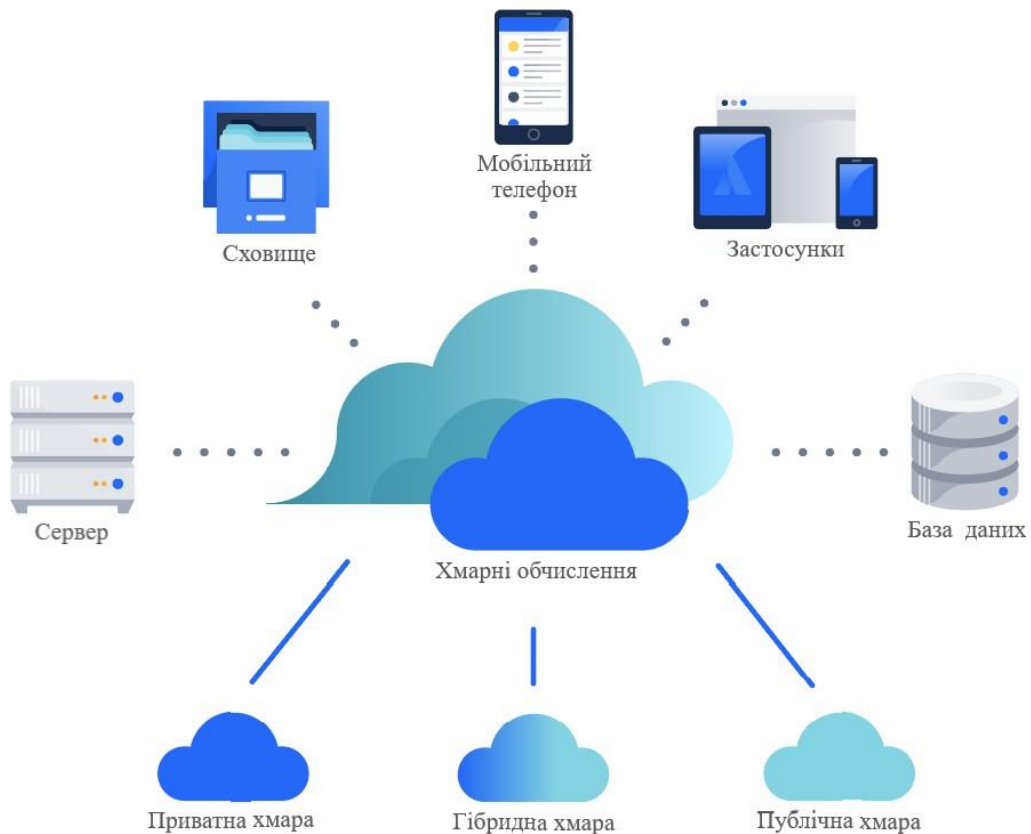


Рис. 1.1 Хмарні обчислення

Не всі хмари однакові, і жоден тип хмарних обчислень не може задовольнити всіх. Було розроблено кілька різних моделей, типів і служб:

- **публічна хмара** - знаходяться у володінні та управлінні у сторонніх постачальників хмарних послуг, які надають свої обчислювальні ресурси (сервери та сховища) через Інтернет. У загальнодоступній хмарі все обладнання, програмне забезпечення та інше, перебуває у володінні та управлінні хмарного постачальника, вам надається тільки обліковий запис, яким ви керуєте через обліковий запис у веббраузері. Крім того, вони надають платформу з нескінченною масштабістю. Кожен співробітник компанії може використовувати один і той же додаток із будь-якого офісу або філії на будь-якому пристрої, що має доступ до Інтернету [4]. Хоча загальнодоступні хмарні середовища викликають сумніви, пов'язані з безпекою, при правильній реалізації, загальнодоступна хмара може бути таким же безпечним якщо

постачальник використовує належні методи захисту, наприклад, системи виявлення та запобігання вторгнень.

- **приватна хмара** - це хмарні обчислювальні ресурси, які використовує тільки одна компанія або організація. Приватна хмара може фізично розташовуватися в корпоративному локальному центрі обробки даних. Деякі компанії платять стороннім постачальникам служб за розміщення їх приватної хмари. Приватна хмара - це хмара, в якій служби та інфраструктура розгортаються в приватній мережі. Крім того, приватні хмари забезпечують високий рівень безпеки та конфіденційності шляхом використання брандмауерів компанії та внутрішнього розміщення, що запобігає доступ до операцій і конфіденційних даних стороннім постачальникам [4]. Недолік полягає в тому, що ІТ-відділ компанії несе відповідальність за вартість і підзвітність, що стосуються управління приватною хмарою. Таким чином, для приватних хмар потрібно стільки ж співробітників і такі ж витрати на управління й обслуговування, як і у випадку з традиційними центрами обробки даних.
- **гібридні хмари** - поєднують загальнодоступні й приватні хмари, пов'язані разом за допомогою технології, яка забезпечує спільний доступ до даних і додатків. Дані та програми можна переміщувати між закритими й загальнодоступними хмарами. Тому гібридна хмара підвищує гнучкість ведення бізнесу, розширює можливості розгортання і допомагає оптимізувати наявну інфраструктуру, а також системи безпеки та відповідності вимогам [4].

Переваги хмарних обчислень:

- + Надійне обладнання. У провайдерів хмар є ресурси для передачі, зберігання і обробки даних: сховища, сервери, мережі, програмне забезпечення та багато іншого.
- + Безпека. Оператор хмарних сервісів відповідає за збереження даних. Наприклад, організовує шифрування, захист від атак і відновлення після збою.

- + Розвиненість технології. На світовому ринку існує безліч компаній, які займаються хмарними технологіями. Список послуг різноманітний: посекудна тарифікація, приватні, публічні і гібридні хмари, цілодобова технічна підтримка, кілька ЦОД в різних місцях.

Недоліки хмарних обчислень:

- Затримка в передачі даних між клієнтом і ЦОД. Дані передаються від клієнта в ЦОД і назад, проходячи багато кілометрів мереж. Це може створити затримки.
- Складна і дорога інфраструктура. Якщо компанія не хоче використовувати публічну хмару, то вибирає приватну або гібридну. Але встановити і підтримувати великий дата-центр на виробництві - витратне завдання.

Туманні обчислення - це технологія, завдяки якій зберігання та обробка даних відбуваються в локальній мережі між кінцевим пристроєм і ЦОД.

Приклад зв'язку туманних обчислень з різними пристроями показано на рис.

1.2. «Туман», на відміну від «хмари», знаходиться ближче до користувачів. Це децентралізована система, яка фільтрує інформацію, що надходить у дата-центр. Туманні обчислення також включають хмарні обчислення - невеликі й досить потужні центри обробки даних, розташовані на граничному сегменті мережі. Їх метою є підтримка ресурсомістких додатків інтернету речей, які вимагають низького часу затримки [5].

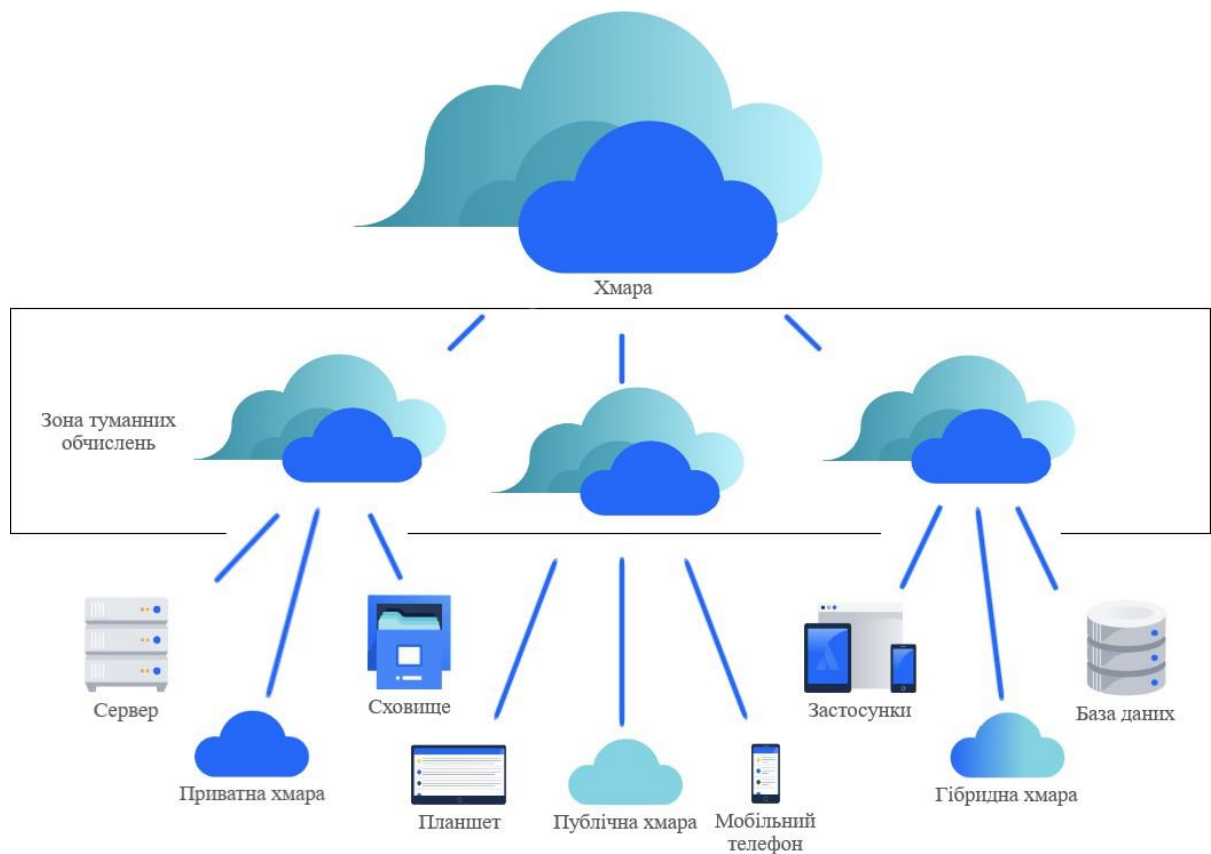


Рис. 1.2 Туманні обчислення

Туманні обчислення є посередником між обладнанням і віддаленими серверами. Туманні обчислення визначають, яка інформація буде відправлена на сервер, і яку інформацію можна буде редагувати локально. Таким чином, туман - це інтелектуальний шлюз, який розвантажує хмари, забезпечуючи більш ефективну обробку та аналіз даних.

Слід зазначити, що туманна мережа не є окремою архітектурою і не замінює хмарні обчислення, а скоріше доповнює їх, максимально наближаючись до джерела інформації [5].

Переваги туманних обчислень:

- + Зняття навантаження з хмари. Використання туманних технологій разом із хмарними допомагає знизити навантаження на ЦОД. Локальні сервери обробляють дані та відправляють у дата-центр тільки найважливіші.
- + Передача даних у режимі реального часу. «Туман» знаходиться ближче до користувача, тому час на обробку та передачу інформації знижується.

- + Додаткова безпека. У локальній мережі ще один рівень захисту - віртуальний фаєрвол, сегментацію трафіку або щось ще.

Недоліки туманних обчислень:

- Проблеми з мережевими вузлами. Децентралізовані мережі менш надійні, ніж мережі великих дата-центрів.

Оскільки великі дата-центри розташовуються на головних магістралях передачі даних мережі інтернету, то передача даних від користувача в мережу і назад займає багато часу це призвело до створення дата-центрів Edge Computing, які розташовувалися безпосередньо на кордоні мережі поблизу користувачів. Спочатку вони являли собою лише «розширення» Інтернету, що дозволяють обробляти інформацію на периферії і знижувати затримки на обробку, а також розвантажувати головні магістралі мережі операторів, за якими передається трафік [5]. Однак, подальший розвиток Edge Computing зробило цю технологію більшим, ніж просто розширення інтернету. Зараз вона розглядається як базова технологія Інтернету речей IoT (Internet of things).

Граничні обчислення (Edge Computing) - децентралізована обчислювальна інфраструктура, в якій обчислювальні ресурси та програмні служби можуть знаходитися вздовж шляху від джерела даних до хмари. Тобто обчислювальні потреби можуть бути задоволені "на границі", де дані збираються, або де користувач виконує певні дії [6]. Приклад роботи граничних обчислень з різними пристроями показано на рис. 1.3. Перевагами граничних обчислень є:

- покращена продуктивність;
- дотримання вимог про конфіденційність і безпека даних;
- менші експлуатаційні витрати.

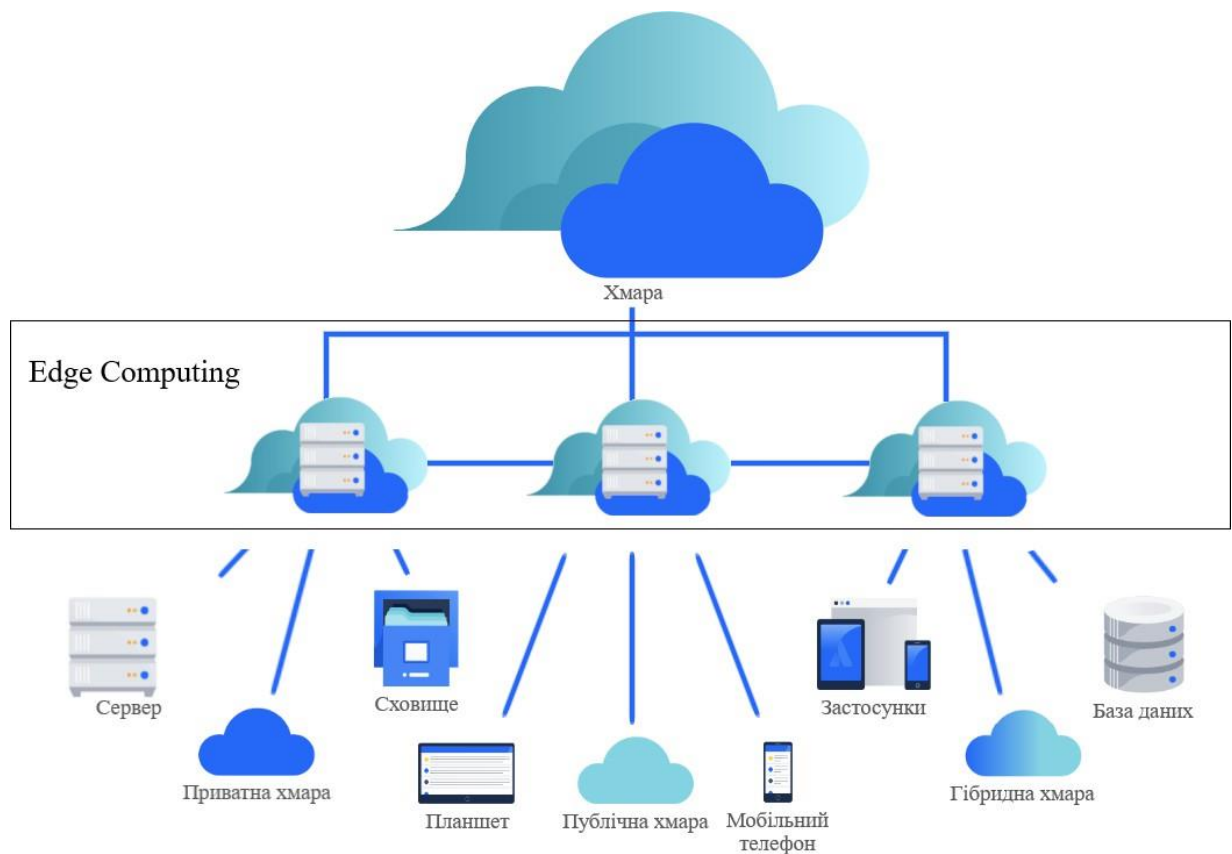


Рис. 1.3 Граничні обчислення

Покращення продуктивності. Граничні обчислення - це не тільки спосіб збирання даних для передачі в хмару, а також обробка, аналіз і миттєві дії над зібраними даними на границі, що і робить їх важливими для оптимізації промислових даних.

Наприклад, у вітроенергетиці, якщо змінюється швидкість або напрямок вітру, локальне програмне забезпечення може аналізувати ці дані в режимі реального часу і налаштовувати окремі турбіни для оптимізації загального виробництва вітрової електростанції. У хмару надсилаються тільки узагальнені дані, що знижує вимоги до пропускнуої здатності каналу зв'язку і зменшує тривалість передачі даних.

Крім того, турбіни генерують терабайти даних. Відправлення цих даних до хмари для виконання складної аналітики є технологічно досяжним, але невиправдано дорогим для щоденного виконання. За допомогою периферійних обчислень кінцевий користувач може збирати потокові дані з

турбіни і використовувати їх в режимі реального часу для попередження незапланованих простоїв і подовження терміну служби обладнання [6].

Проблема передачі великої кількості даних у реальному часі з мінімальними витратами від віддалених об'єктів може бути пом'якшена шляхом використання інтелектуальних пристроїв на границі мережі - на рівні будинку або району. Обчислення на периферійних пристроях наближають можливості аналітики ближче до устаткування та забезпечують менш вартісний варіант оптимізації [6].

Дотримання конфіденційності і безпеки даних. Публічна хмара має довгий перелік питань до конфіденційності, нормативно-правового регулювання та дотримання встановлених вимог, пов'язаних із секретними або конфіденційними даними. На сьогоднішній день постачальники послуг можуть гарантувати приватний доступ і контроль, однак за рахунок громіздкості, високої вартості, низької гнучкості та складності управління таких рішень. Граничні обчислення дозволяють підприємствам працювати незалежно, використовуючи публічну/приватну хмару з локальними обчисленнями, що розміщується в цій області, регіоні, домені або в необхідних межах локальної безпеки.

Зменшення експлуатаційної вартості. Підключення, перенесення даних, пропускну спроможність та затримка обчислень у хмарних технологіях коштують дорого. Граничні обчислення вирішують ці проблеми за рахунок зниження вимог до пропускну здатності і затримок.

Якщо, наприклад, для буріння нафтових і газових скважин в Нігерії потрібні розрахунки для прогнозування швидкості зниження видобутку нафти, альтернативними варіантами є створення власних центрів обробки даних (враховуючи відповідні обмеження за вартістю і масштабуванням) або використання послуг постачальників хмарних технологій (де найближчий центр обробки даних може знаходитися аж за 8000 кілометрів) зі значними грошовими витратами і ненадійним обслуговуванням. Завдяки граничним обчисленням кінцевий користувач може локально обробляти дані в режимі

реального часу за невелику частину вартості публічної хмари, зберігаючи при цьому гнучкість, яку забезпечує хмарна інфраструктура.

Граничні обчислення утворюють елемент, необхідний для обробки великих обсягів створених з IoT даних, що прямують від пристрою до хмари. Обробка даних ближче до місця, де вони генеруються, і в межах часу відгуку, який вимагають локальні додатки, вирішує проблеми швидкого зростання обсягу даних. Граничні обчислення зменшують час реакції на події, за рахунок виключення передачі даних у хмару і назад для проведення аналітики. Це дозволяє уникнути потреби нарощування пропускної здатності мережі, усуваючи необхідність передачі гігабайтів даних у хмару [6]. Це також захищає конфіденційні дані IoT, аналізуючи їх локально в приватній мережі.

Отже, підприємства, що використовують граничні обчислення, можуть покращити та оптимізувати операційні показники, а також, ефективно керуючи витратами, вирішувати питання безпеки та відповідності вимогам.

Існує сукупність фундаментальних рішень для використання IoT, і “границя” рухається по цьому спектру в залежності від вирішуваної проблеми, про що свідчать наступні приклади з типових промислових задач [5].

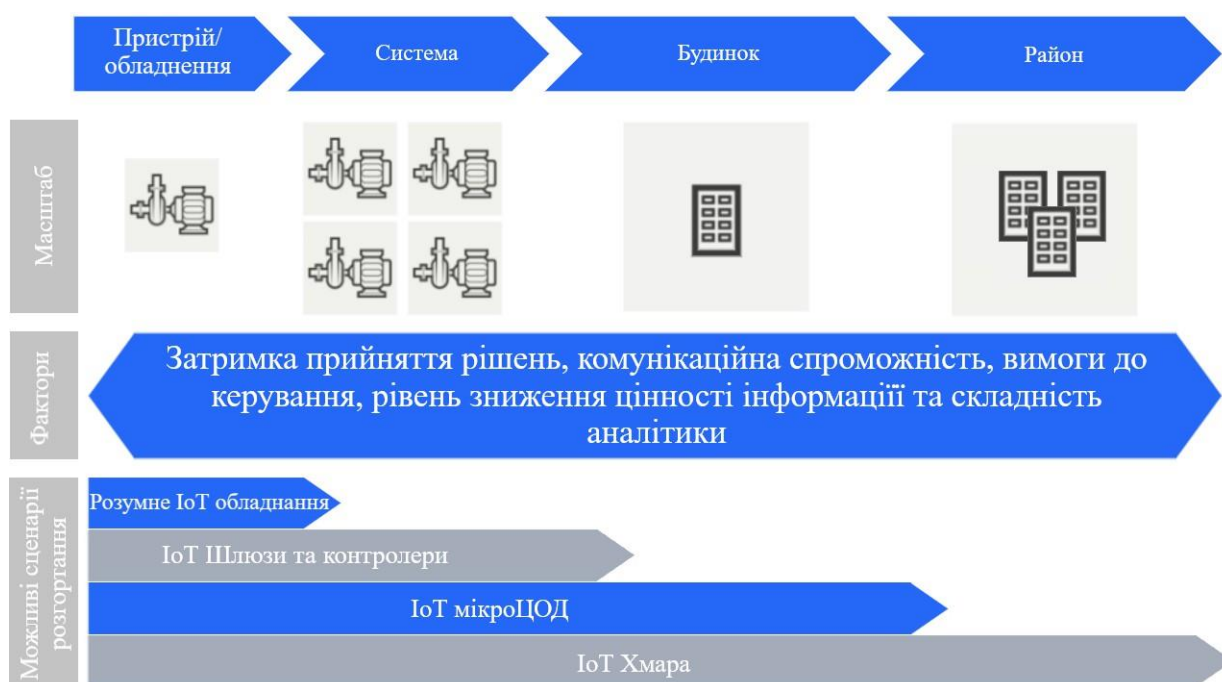


Рис. 1.4 Граничні обчислення в типовому промисловому середовищі

Приклад 1: захист обладнання від перегріву

У цьому випадку термопара вимірює температуру двигуна. Двигун зі здатністю до граничних обчислень може виконувати базову аналітику для визначення виходу температури за допустимі межі та зупиняти двигун практично миттєво. У такому випадку відсутня затримка прийняття рішень і нема потреби підключення до мережі для виконання цієї функції. Хоча зв'язок може використовуватися для інформування про ситуацію. Цінність інформації про температуру з плином часу швидко спадає, оскільки затримка реакції може призвести до пошкодження обладнання. В цьому випадку границя знаходиться на рівні пристрою, так як вона може досягти ключової мети навіть якщо зв'язок з системами і мережами більш високого рівня перерваний.

Приклад 2: моніторинг продуктивності вентиляційного обладнання

Продуктивність обладнання часто виражається через показники ефективності, такі як загальна технічна ефективність. Аналіз значень від кількох датчиків на вентиляційному обладнанні може відбуватися практично в реальному часі на локальному шлюзі. В цьому випадку для забезпечення елементарної дієздатності необхідно отримувати інформацію з кількох технологічних джерел. Час отримання інформації грає важливу роль, оскільки затримки реакції в очікуванні рішень з хмари можуть призвести до значних втрат. Наявність такої проблеми вказує, що границя має знаходитися на рівні будівлі.

Приклад 3: оптимізація ланцюга постачання енергоресурсів

Оптимізація процесів системи постачання енергоресурсів для локальних об'єктів, для застосування алгоритмів оптимізації і аналітики потребує даних від кількох джерел через короткі проміжки часу. Ці алгоритми адаптуватимуть плани постачання в таких бізнес-системах, як SCM або ERP. Для простої працездатності потрібен зв'язок на локальному чи будинковому рівні з рішеннями, що були прийняті протягом останніх годин. Додаткова інформація за межами периметра будинку може бути корисною, але не обов'язковою для

ефективної оптимізації. У цьому випадку границя знаходиться на периметрі будинку або локального об'єкта.

Приклад 4: прогнозування відмов обладнання і планування превентивних заходів

Для прогнозування відмов насосів, моделі машинного навчання потребують даних від кількох платформ, що знаходяться за границею системи. Аналітичні моделі складні і потребують значного обсягу даних для навчання та перенавчання моделей. Вони також потребують регулярних потоків даних від працюючих насосів для визначення залишку терміну експлуатації кожної одиниці. Дані окремих насосів необхідно аналізувати регулярно, але знецінення інформації відбувається набагато повільніше, ніж в інших випадках, тому рішення можуть бути щоденними або щотижневими. Обчислення зазвичай виконується на рівні будинку з використанням загальнодоступного або приватного хмарного сховища і знаходиться у верхній частині границі.

Границя може знаходитися будь-де вздовж графіку «дані-час» (див. рисунок 1.5), що демонструють наведені приклади.

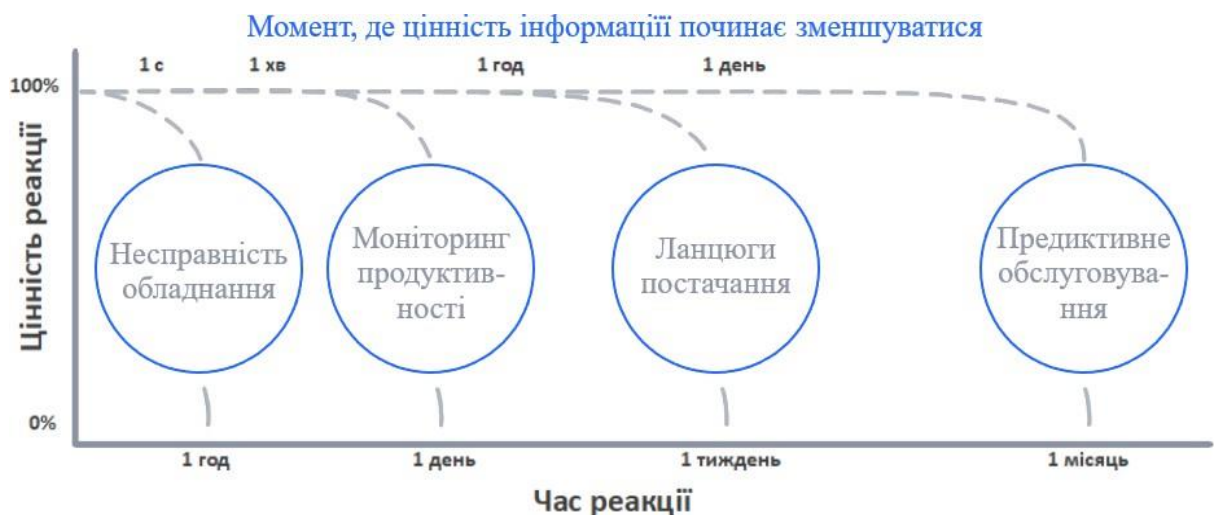


Рис. 1.5 Графік “час-цінність” інформації від граничних пристроїв

Види граничних обчислень

Буває кілька видів граничних обчислень. Рисунок 1.6. ілюструє кілька прикладів реалізації граничних обчислень на основі різних поглядів бізнесу. Приклади розглядаються зліва направо, в мірі ускладнення граничного рівня і об'єднання декількох системних функцій. Обчислювальний рівень переміщується вгору по ієрархії, об'єднуючи можливості обробки, інформацію та дані знизу [5].

Кілька наведених варіантів означають, що існує багаторівневий взаємозв'язок границь і хмар. Там, де це можливо, в цифровізації завжди буде використовуватись взаємодоповнюваність границі і хмари, де швидке і локалізоване обчислення відбуватимуться на периферії, а глобальні обчислення, розробки моделі, менеджмент і безпека можуть скористатися «мудрістю хмари».

Почнемо з прикладу простого регулятора температури (див. «А» зліва рисунку 1.6).

Проблема, яку необхідно вирішити, - це моніторинг температури та керування конкретним пристроєм або зоною. У цьому випадку периферійними пристроями будуть термомпари, що передають дані про температуру, та елемент, що забезпечує нагрівання або охолодження. Граничним же обчислювальним пристроєм буде регулятор температури, який виконує алгоритм керування і здійснює регулювання. [6].

Якщо мета полягає в підтримці температури на декількох пристроях або ділянках, то границею стає сам регулятор температури (будь то окремі компоненти або автономні системи), а граничний обчислювальний рівень стає системою, що координує управління, як правило це ПЛК або SCADA система ("В" на рисунку 1.6).

Якщо комерційна мета полягає у моніторингу та управлінні кількома географічно віддаленими об'єктами, то границя кожного окремого об'єкта повідомляє про свій стан обчислювальному рівні в хмарі ("С" на рисунку 1.6).

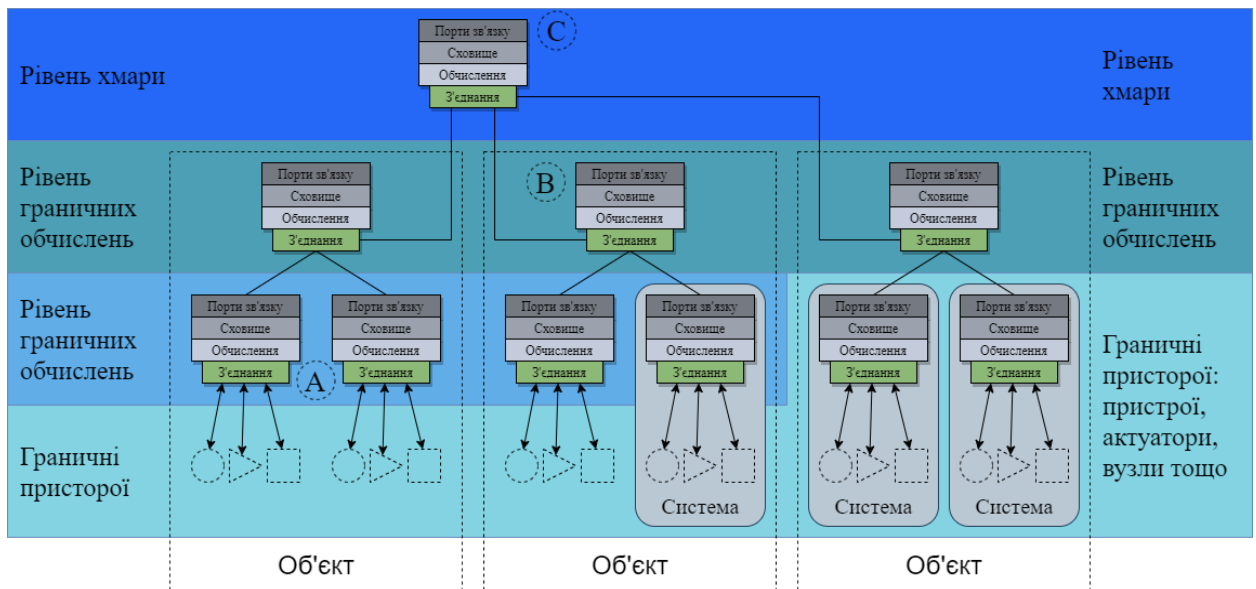


Рис. 1.6 Приклад реалізації граничних обчислень

Використання граничних обчислень у містах відкриває нову гілку «Edge AI» — це технологія, яка керує AI, архітектурою, яка обробляє дані датчиків за допомогою алгоритмів глибокого навчання, близьких до датчиків, які генерують дані. Edge AI дозволяє будь-якому пристрою або комп'ютеру обробляти дані та приймати рішення в режимі реального часу з мінімальною затримкою [13]. Отже, граничні обчислення мають важливе значення для додатків реального часу, яким потрібна низька затримка, щоб забезпечити швидкі відповіді. Приклади включають виявлення перешкод на залізничних лініях, перевірку дефектів на швидко рухомих складальних лініях або виявлення падінь пацієнтів у лікарнях.

Наближаючи завдання обробки AI до джерела, граничні обчислення долають проблеми, які можуть виникнути з хмарними обчисленнями, як-от висока затримка та скомпрометована безпека.

Приклади використання периферійних обчислень для розумних міст: райони, шкільні кампуси та торгові центри – це деякі з багатьох місць, які почали використовувати штучний інтелект на границі обчислення, щоб перетворитися на розумні простори. Від управління дорожнім рухом до планування міста ці організації використовують штучний інтелект, щоб зробити свої приміщення більш ефективними, доступними та безпечними[13].

1.3 Використання сучасних технологій при будівництві та перебудові

Розвиток і зниження вартості апаратного забезпечення призвело до того, що об'єктами автоматизації стають не тільки великі, окремі будівлі, а й тисячі невеликих типових будівель — автозаправки, магазини та офіси. Ускладнюється система моніторингу та управління, яка забезпечує збирання даних з великої кількості будівель.

Підключення безлічі об'єктів до єдиної системи моніторингу та управління дозволяє отримати додаткову користь: можна порівняти роботу інженерних систем в однакових об'єктах, наприклад, показники споживання електрики освітленням. Це новий підхід та реалізованих рішень на даний момент зовсім небагато [8].

Пілотні проекти показали економію споживання електроенергії до 25% у реальних умовах. Магазин під час будівництва обладнали так званим розумним розподільним щитом, додатково забезпеченим приладами обліку, а також виконавчими механізмами (реле). Це дозволило максимально гнучко реалізувати правила обліку та управління. Такий підхід дозволяє масово змінювати параметри відповідно до поточних умов, наприклад, переводити об'єкти на цілодобовий режим роботи. Об'єднання в мережу таких об'єктів найчастіше виконується за допомогою мобільних мереж і мереж загального користування - контролери забезпечуються SIM-картами та передають дані по GSM, також можливий варіант підключення до вже розгорнутої публічної мережі Wi-Fi підприємства [8].

В процесі реалізації подібних проектів класичні підходи починають давати збої. Наприклад, пасивний збір даних - процес, при якому система управління будівлею (BMS) або система для автоматичного контролю та збору інформації (SCADA) запитує дані у програмованого логічного контролера (ПЛК) - погано поєднується з особливостями мобільної мережі. Можуть виникнути проблеми з перетворенням мережевих адрес (NAT) або нестабільним з'єднанням. Альтернативою стала технологія PUSH, коли ПЛК підключається до основної системи за графіком або на постійній основі ініціює

обмін даними, передаючи накопичену статистику та отримуючи нові параметри, правила та навіть оновлення ПЗ. Наприклад, ПЛК Wiren Board, що використовується у завданнях моніторингу серверного та кліматичного обладнання, може працювати і через мобільну мережу.

Великий накопичений масив даних з однакового обладнання у тисячах об'єктів дає можливість проводити аналітику, яка була недоступна у разі однієї будівлі. За допомогою класичних засобів аналітики Business Intelligence (BI) можна будувати прогнози щодо споживання в об'єктах, що знову підключаються, за необхідними ресурсами, а також виявляти втрати і шахрайські дії. До того ж технології машинного навчання дозволяють передбачати вихід обладнання з ладу [8].

Система управління будівлею працює найефективніше у разі, якщо використання необхідного ПЗ було спочатку передбачено у проекті. Але у великій кількості об'єктів, введених в експлуатацію, без урахування розумних пристроїв, використовуються класичні кондиціонери, вентиляція, теплові завіси для створення повітряних бар'єрів та освітлення. Якщо подолати всі складнощі впровадження, то додаткове оснащення розумними рішеннями може підвищити комфорт для відвідувачів будівлі та принести суттєву економію ресурсів – вигода може досягати до 30% заощаджених енергоресурсів.

Для дооснащення застосовуються різні реле; герметизовані контакти; датчики: температури, CO₂, освітленості та приймачі IR. Логіка управління реалізується за допомогою ПЛК. Під час розробки логіки управління важливо враховувати особливості керованого устаткування. Наприклад, сценарій вимкнення тепловозавіси повинен передбачити роботу вентилятора протягом трьох хвилин після вимкнення нагрівальних елементів. Крім того, корисним може бути опосередкований моніторинг роботи обладнання через оцінку споживання електрики [8]. При ввімкненні теплової завіси за допомогою реле можна оцінити кількість енергії, що витрачається і, якщо споживання не зросло, зробити висновок про несправність в устаткуванні.

РОЗДІЛ 2

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Ідеальний варіант розумної будівлі з використанням smart-технології, повинен бути закладений в проект на етапі проектування. Конструкція повинна передбачати всі необхідні для оснащення нюанси, інфраструктура має забезпечувати необхідні потужності. Використовувати розумні рішення у вже існуючих спорудах можна і потрібно, але існує ризик зіткнутися з різними складнощами. Насамперед, варто визначити, наскільки будівля готова до модернізації. На жаль, сьогодні іноді експлуатуються зовсім застарілі будівлі, які підлягають зносу, а не модернізації. Різноманітні протоколи, які використовуються обладнанням у будівлі, можуть серйозно перешкоджати впровадженню нових технологій. На заводі також може стати застаріле обладнання.

Впровадження розумних рішень на кожному об'єкті проходить етапи проектування та реалізації. Під час проектування визначаються різні сценарії експлуатації будівлі. Далі ці сценарії реалізуються в залізі - у вигляді датчиків, пристроїв та спеціалізованого ПЗ, що включає системи моніторингу та реагування.

Сценарії можуть бути як автоматичними, що працюють без участі людини, так і такими, що реагують на дії. Наприклад, сценарії можуть автоматично вимикати освітлення в офісі вздовж вікон вдень і вмикати при зниженні рівня освітленості або керувати теплозавісою на вході залежно від зовнішньої та внутрішньої температур, забезпечуючи вдень комфорт для відвідувачів, а вночі – не допускати утворення роси. Більш складні автоматичні сценарії включають інтеграцію з внутрішніми службами, наприклад, підготовку кімнат переговорів, за допомогою синхронізації з корпоративним календарем — система включить кондиціонер і вентиляцію для створення комфортної температури, а також освітлення і необхідне обладнання.

У житлових будинках система може бути інтегрована з домофоном і на запит видавати тимчасовий код для проходу гостей або кур'єра, який можна

використовувати лише один раз. Мешканці будинку можуть викликати ліфт, перебуваючи ще у квартирі, якщо рахунок йде на хвилини та важливо кудись встигнути. Розумні технології дозволяють взаємодіяти із зовнішньою інфраструктурою із квартири, а також навпаки — спрямовувати команди до внутрішніх приладів, перебуваючи зовні. Наприклад, у спеку можна віддалено включити кондиціонер, підходячи до будинку, щоб створити комфортну температуру.

2.1 Утримання, ремонт та модернізація багатоквартирного будинку

В Україні, утриманням та ремонтом інженерних мереж, в житлових будинках, займаються керуючі компанії або житлові комунальні господарства (ЖКГ). Сьогодні керуюча компанія для забудовника – це необхідність, яка забезпечує компанії можливість виконувати обіцянки, дані клієнту, а отже, якісно конкурувати на ринку. Закон про інвестиційну діяльність передбачає наявність посередника між забудовником та інвестором в особі інвестиційного фонду чи компанії з управління активами [7]. Після введення будинку в експлуатацію право власності спочатку передається такій компанії, а вже від неї інвестору. Це тривалий процес, і щоб під час передачі прав власності підтримувати якісне функціонування всіх систем будинку, необхідно залучення компанії, що управляє.

Щоб утримувати будинок та всі системи у належному стані, а також надавати якісний сервіс мешканцям, забудовники змушені створювати власні керуючі компанії. Наявність власної компанії, що управляє, дозволяє ефективно використовувати технологічні рішення, закладені ще на етапі проектування будинку. В той самий час об'єднання співвласників багатоквартирного будинку (ОСББ) може просто не знати про ці рішення або не мати достатніх компетенцій для їх використання [7].

Згідно з житловим кодексом України послуги включають перелік робіт постійного та сезонного характеру, спрямованих на підтримання хорошого стану будинку та справну роботу комунікацій [7]. Також витрачається велика

кількість часу на повірку лічильників та перевірку тиску в системах водопідготовки за прикладами.

Приклад 1: інженер раз на тиждень ходить у підвал будинку та записує в зошит данні з загально -будинкових лічильників гарячої, холодної води та тепло-лічильників. Раз на рік відбувається повірка даних квартирних лічильників, дані яких записуються також у зошит. Далі дані оцифровують, використовують для власних потреб та відправляють до водоканалу та теплоенерго. Ці організації також отримують данні з власних систем, які є обов'язковими при проектуванні та зберігають на власних серверах.

З плюсів можна визначити швидкість реакції та постійний фізичний моніторинг стану інженерних мереж будівлі.

З мінусів – це час на обхід будинків, помилки при знятті показників та помилки під час оцифрування.

Приклад 2: інженер керуючої компанії робить запит на отримання даних з систем водоканалу та теплоенерго. Чекає від п'яти до десяти робочих днів, обробляє інформацію та при нестандартних показаннях іде до підвалу будинку аби перевірити систему.

З плюсів - менша кількість персоналу на обхід будівель, уникнення помилок оцифрування.

Мінуси – час на отримання інформації від держструктур.

Утримання, ремонт та модернізація багатоквартирного будинку передбачає обробку великих обсягів вхідних даних. Які можна обробляти за допомогою хмарних, туманних або граничних обчислень.

2.2 Аналіз житлових будівель під перебудову або переобладнання

Серії будинків в Україні – це здебільшого типові дев'яти та п'ятиповерхові будівлі, які дісталися країні у спадок після розпаду Радянського Союзу. Розглянемо кожен з типів забудов у Києві:

Забудови з 1800 до 1917 років. В народі такі будівлі називають – «дореволюційними». Більшість дореволюційних будівель є пам'яткою історії та/або архітектури. Розташовані як у центральних районах Києва, так і за його

околицями. Будувалися аж до 1917 року і виключно з червоної цеглини. Поверховість – 1-8. Висота стелі від 3 до 4,5 метрів. Дореволюційні будівлі вигідно відрізняються на тлі сірих коробок, маючи більш красиву обробку та нестандартні рішення щодо форм [9]. Такі будинки не будувалися за типовими проектами, тому кожен будинок – це унікальний та авторський витвір. За Кількість будинків у місті - 12%.

Квартири в дореволюційних будинках протягом усіх років користуються попитом. У деяких вже навіть проводився капремонт, і частина проблем старих будівель вирішена.



Рис. 2.1 Дореволюційна будівля в місті Київ, «Будинок Олександра Сироткіна»

Впровадження граничних обчислень крайне необхідне для дореволюційних будівель. Через те що будівлі є пам'ятками архітектури, важливо зберегти їх для наших нащадків. Швидкість реакції системи моніторингу за станом будівлі, дозволить вчасно виявити проблеми, та вчасно зрозуміти причину. Але є один недолік – кожна будівля унікальна і кількість датчиків може бути різна, час опитування, кількість інформації для зберігання може збільшитись, через це ціна проекту може значно підвищитись. Але найголовніше, те що архітектура залишиться в первозданному вигляді.

Забудови з 1933 року до початку 1960-х років. Також відомі як Сталінки. Це багатоквартирні будинки, які споруджувалися в СРСР з 1933

року до початку 1960-х років. Як правило, сталінська квартира має значну кількість кімнат - зазвичай три-чотири, рідше дві або більш як чотири. Однокімнатні сталінки будували обмежено. Кімнати можуть бути як роздільними, так і суміжними (у трьох кімнатних сталінках зазвичай поєднані дві кімнати).

Наприкінці 1940-х для прискорення забезпечення населення житлом розпочинається будівництво сталінських будинків за типовими проектами. У порівнянні з номенклатурними будинками, що зводяться за індивідуальними проектами, типові сталінки мають скромніші характеристики та спрощену архітектуру. Типові сталінки досить численні внаслідок збільшення обсягів житлового будівництва у цей період [9].

Сталінські будинки є досить престижним житлом. Високу теплоізоляцію сталінським будинкам забезпечують товсті зовнішні стіни, складені з білої силікатної або (краще) червоної керамічної цегли. Цегляні стіни також забезпечують високу шумоізоляцію усередині будинку. Завдяки їм сталінки перевершують теплоізоляцією всі радянські та пострадянські панельні будинки, побудовані до впровадження «теплої панелі», а за внутрішньою шумоізоляцією — панельні та монолітні будинки. Багато внутрішньо квартирних стін не є капітальними, особливо при використанні колон і ригелів замість внутрішніх опорних стін. Це дає широкі можливості щодо перепланування.

По висоті стель (3 метри і вище) сталінські будинки перевершують усі радянські житлові будинки пізнішої будівлі, а також сучасні будинки економ та комфорт-класу.

Багатосхилий жорсткий дах сталінських будинків, критий шифером або покрівельним залізом, має високий термін служби - 30-50 років - проти 10-15 років для плоскої м'якої покрівлі хрущовок і пізніших будинків.

У двоповерхових сталінках відсутній підвал — підлога першого поверху розташована на невеликій висоті від землі. Завдяки цьому у квартирі першого поверху можна облаштувати мінільох.

У сталінках, не підключених до гарячого водопостачання та спочатку оснащених «титанами», для нагрівання води використовується газова колонка, яка дозволяє цілий рік користуватися гарячою водою, що не є дешевим варіантом. Передбачений конструкцією будинку потужний «пічний» димар має гарну тягу. Технічно можливе встановлення квартирної газової опалювальної котли [9].

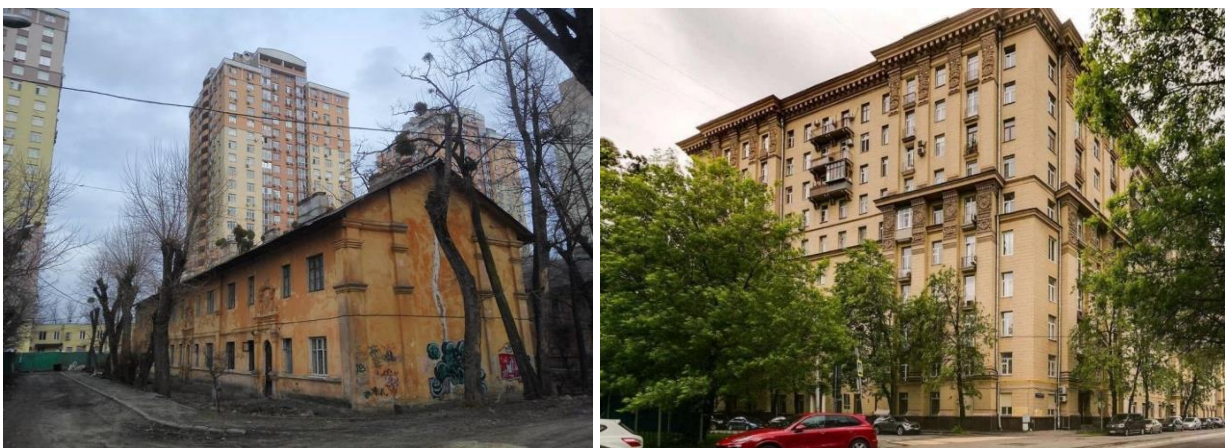


Рис. 2.2 Зліва – сталінка яка підлягає перебудові. Права – сталінка яка підлягає модернізації.

Типові проблеми сталінок, які підлягають модернізації - це системи опалення, водопостачання та каналізації, які залишилися з часів будівництва будинку. Електричні мережі таких сталінок не розраховані на сучасні електроприлади, тому основні мережі необхідно замінити.

Впровадження граничних обчислень у сталінки, допоможе скоротити час на модернізацію будівлі. Аналіз бази даних, яку буде отримано після впровадження, допоможе краще визначати будівлі під модернізацію. У цей час модернізована будівля буде використовувати на 20-30% менше енергії на утримання, що дозволить окупити систему.

Забудови з 1956 до 1973. Мешканці Києва їх називають «Хрущовками» - являють собою багатоквартирні будинки, що зводились за типовими проектами в стилі функціоналізму. Були панельними, цегляними, рідше великоблоковими. Найбільш відомими є панельні хрущовки. Вони набули широкого поширення завдяки високій швидкості зведення із задалегідь

виготовлених залізобетонних панелей. Як правило, такі будинки мають низьку теплоізоляцію зовнішніх стін та погану шумоізоляцію усередині будинку. Цегляні будинки найчастіше будувалися у містах, які не мають власних домобудівних комбінатів [9]. Для їх зведення зазвичай використовувалася силікатна цегла та залізобетонні вироби заводського виробництва: плити перекриття, балконів, перемички, сходові марші. Швидкість зведення хрущовок була дуже високою, тому нерідко страждала якість будинків

Висота переважної більшості хрущовок - 4 або 5 поверхів. Це пов'язано з тим, що 5 поверхів – максимальна висота будинку, в якому за будівельними нормами не потрібний ліфт. Хрущовки могли мати менше поверхів - 2 або 3, частіше вони зустрічалися в сільській місцевості, а також у невеликих містах. У деяких серіях хрущовок є сміттєпровід.



Рис. 2.3 Зліва – типова хрущовка. Права – перебудова хрущовки в місті Лайнефельде, Германія.

Типові проблеми, які притаманні хрущовкам, – це провисання балконів, опалення та каналізація вмонтовані в стіни, немає підвалів, застаріла проводка, а шви на фасадах розходяться.

Перебудова хрущовок дозволить впровадити граничні обчислення в повному обсязі. Загальна обробка даних, швидка передача даних до структур теплоканалу та водоканалу, в цей час, доступ до даних керуючої компанії будинку. Швидка реакція на поломки та нестандартні ситуації. Впровадження

такої системи, під час перебудови, дозволить економити до 40% споживаної енергії.

Новобудови – такі будівлі потрібно поділити на декілька типів за роками побудови. Так як, вони складаються з модернізованих проектів панельних хрущовок, монолітно-панельних, цегляно-монолітних. Такі будівлі будувались у проміжок часу між 1970-2000 роках, рисунок 2.4. В таких районних забудовах не дуже розвинена інфраструктура, постійні проблеми з паркомісцями, немає охорони та системи відеоспостереження про периметру. Період експлуатації таких забудов від 50 до 150 років, це означає що реалізація граничних обчислень є крайнє необхідною. Така система дозволить економити енергоресурси, збільшити період експлуатації інженерних мереж та зменшити кількість аварійних ситуацій.



Рис. 2.4 Типові серії будинків які можна зустріти в місті Київ.

Злів – будинок серії «БПС». Права – будинок серії «КТ»

Новобудови - побудовані після 2000 року. Такі будинки мають усі необхідні комунікації, розвинену інфраструктуру, звукоізоляційні та теплоізоляційні властивості, наявність охорони та систем відеоспостереження по периметру, транспортна доступність [9].

Основні проблемами новобудов - це швидкість обробки інформації, своєчасний відгук на поломки, та диспетчеризація основних інженерних мереж. На етапі проектування більшість проблем можна запобігти, але швидкість, з якою будуються нові райони, не завжди відповідає якості. Одна

погано змонтована батарея, в непроданій квартирі, може залити кілька поверхів новобудови. Впровадження граничних обчислень може запобігти таким аварійним ситуаціям. Також можливість розподілення інформації покращує системи передачі даних із лічильників, як в сервіси водоканалу, теплоенерго, так і в обслуговуючі компанії одночасно, або за запитом.

У даній роботі будуть використанні граничні обчислення, як спосіб обробки та передачі інформації до користувачів. Об'єктом збору та аналізу даних було обрано мешканців новобудов та застарілих будівель.

РОЗДІЛ 3

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗПОДІЛЕНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ПАРАДИГМИ

3.1 Розробка системи моніторингу інженерних систем у новобудові

За останнє десятиліття були розроблені мільйони нових пристроїв, підключених до інтернету, які називають інтернет речей (Internet of Things - IoT). Ці пристрої, включаючи датчики, виконавчі пристрої, смартфони, шлюзи, механізми, концентратори, граничні вузли та багато іншого, підключені до інтернету через граничні мережі [10]. Ці мережі в цей час розвиваються шляхом додавання інтегрованих можливостей обробки для створення інтелектуальних, автоматизованих та стійких середовищ у різних галузях.

Будівельна галузь отримує значну вигоду від переходу до граничних обчислень. Будівельні процеси дуже складні та потребують значної автоматизації. Інтелектуальні системи у цій галузі повинні розроблятися з високим ступенем безпеки та надійності. Заходи з забезпечення надійності системи включають: високу якість обслуговування; стійкість до відмов; можливості самовідновлення і самоорганізації; зрозумілі та прості у використанні інтерфейси управління; можливість підключення декількох WAN і LAN з механізмами аварійного перемикання і високий рівень ремонтпридатності.

Застосування граничних обчислень в новобудовах можна розділити на три рівні [5]:

- локальні – квартирні пристрої;
- локалізовані – будинкові пристрої обробки даних;
- регіональні – районний центр обробки даних.

Пристрої всіх трьох видів пов'язані між собою. Завдяки цьому збільшується ряд переваг для забудовника, обслуговуючих компаній та власника житла. Дані які були отримані на локальних пристроях, можливо

передати на локалізовані, після обробки передача відбувається на регіональні і після, на зберігання в хмару [5]. Дані можуть бути різними, та їх користувачі також.

Приклад застосування даних вироблених за допомогою квартирного граничного пристрою, де читачем цих даних є постачальник ресурсів: людина зменшила кількість використання тепла на батареї, для людини – це комфорт, для постачальника енергоресурсів – зменшення вироблення тепла на будинок. Звичайно, це робиться не в проміжку одного дня, але такий аналіз протягом одного місяця, допоможе зробити висновок на інші місяці, що дозволить зменшення використання природних ресурсів.

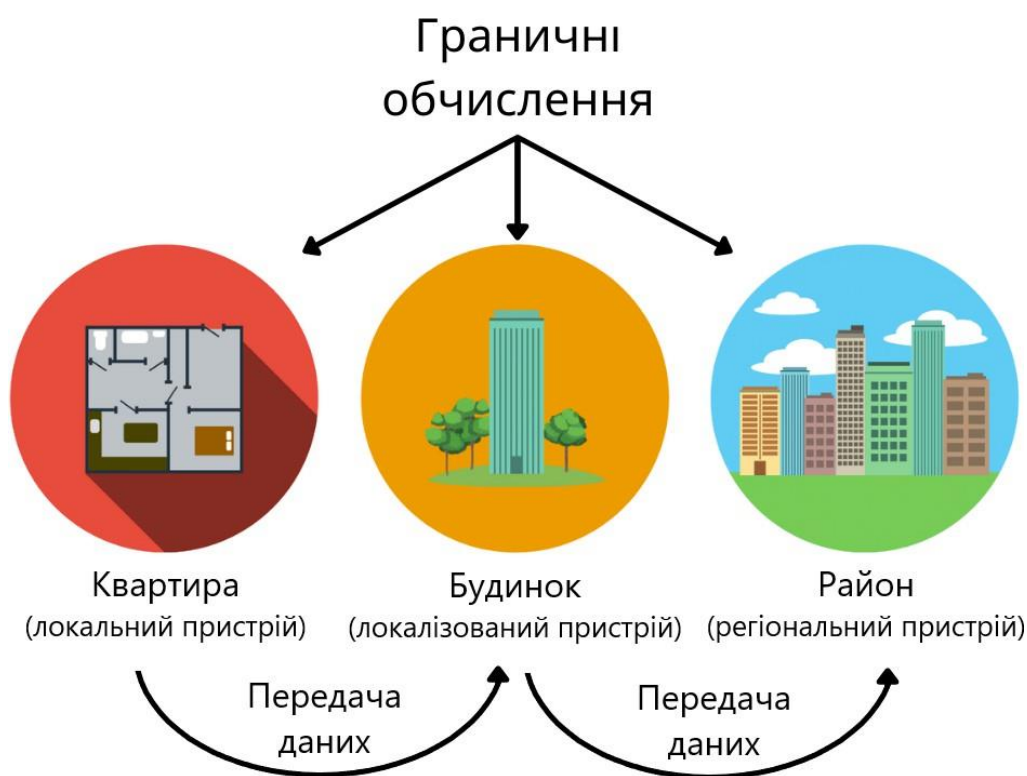


Рис. 3.1 Місце застосування граничних пристроїв.

Граничні обчислення у квартирі. Сучасна квартира облаштована різними приладами та інженерними системами: аудіо та відео техніка, системи вентиляції, тепlopостачання, кондиціонування, безпеки тощо. Попри свою багатофункціональність та сучасність, кожен із цих приладів вимагає постійного контролю із боку людини. Основне завдання системи – покращити

якість життя та забезпечити зручність мешканцям. Якщо говорити предметно, то за допомогою системи розумного будинку можна робити:

- Змінювати температуру у квартирі;
- Керувати освітленням та побутовими приладами;
- Контролювати систему безпеки будинку та доступ до нього;
- Отримувати сповіщення у разі форс-мажорів (витікання води або пожежі);
- Контролювати, коли щось вмикається і вимикається;
- Контроль споживання ресурсів;

На вид більшість пристроїв IoT не відрізняються від звичайних, але за функціоналом вони є бездротові та під'єднані до власних серверів обробки та зберігання інформації. Кожен виробник таких приладів має свій сервер, що призводить до збільшення місць де відбувається обробка та зберігання даних [10]. Так, наприклад при різних виробниках IoT лампочки та IoT вимикача, перемикач світла за допомогою смартфона призводить до обробки даних на різних серверах, що впливає у затримку 3-4 секунд.

Такі сервери зберігають та показують користувачу загальну кількість використаної енергії у проміжках: день, тиждень, місяць, що унеможливорює погодинний аналіз даних. Деякі виробники беруть плату за доступ до інформації погодинного/хвилинного використання енергоресурсів, така інформація якраз і потрібна для детального аналізу

Приклад реалізації такої системи можна побачити на рисунку 3.2 система перекриття кранів знаходиться на одному сервері, система затоплення – на іншому. Час реакції на перекриття значно збільшується. У кращому випадку, людина отримала повідомлення про протікання води, зайшла в додаток та перекрила кран. Це приблизно – чотири хвилини, що дорівнює тридцяти літрам води, які вже можуть затопити сусіда знизу.

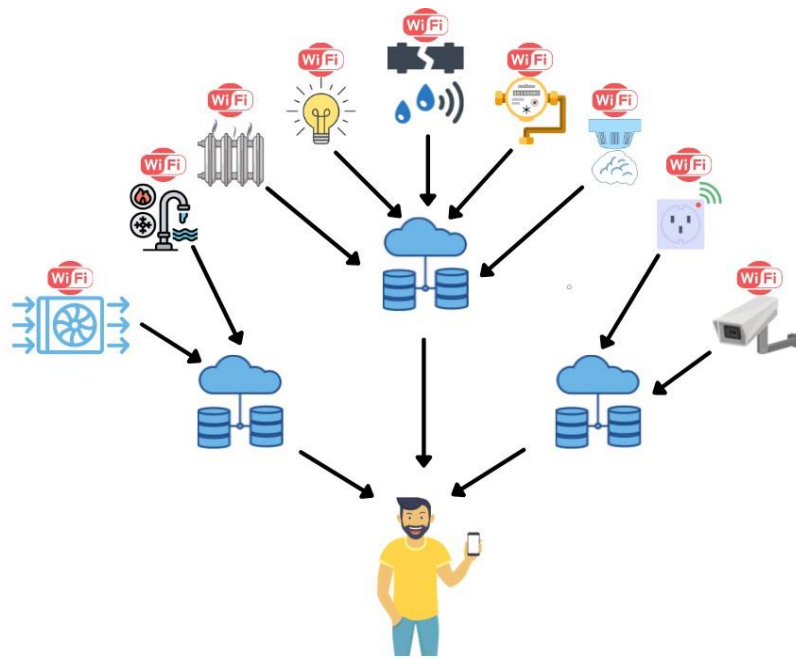


Рис. 3.2 Запит користувача до пристрою інтернет речей.

Завдяки впровадженню граничних обчислень у квартирі за допомогою локального пристрою можливо досягти повної автоматизації. Сервер граничних обчислень працює як хаб до якого під'єднуються пристрої IoT. Обробка та зберігання даних відбувається на ньому, в кінці місяця відбувається збереження проаналізованих даних у хмарі, ці дані використовуються тільки для подальшої обробки.

Частину даних з локального пристрою можливо відправляти до будинкового сервера граничних обчислень, такі данні можна використовувати для подальшого аналізу будинкових систем. Також на квартирний пристрій можуть надходити данні з регіональних пристроїв. Наприклад: при поломці ЦТП, регіональний пристрій відправить сигнал на локальний пристрій, про необхідність ввімкнення квартирного бойлера.

Завдяки впровадженню граничного пристрою зменшиться кількість запитів до серверів пристроїв IoT, що зменшить затримку під час ввімкнення світла або перекритті кранів. Аналіз даних квартири допоможе зменшити до 30% використання енергії, в той самий час покращити умови життєдіяльності людини.

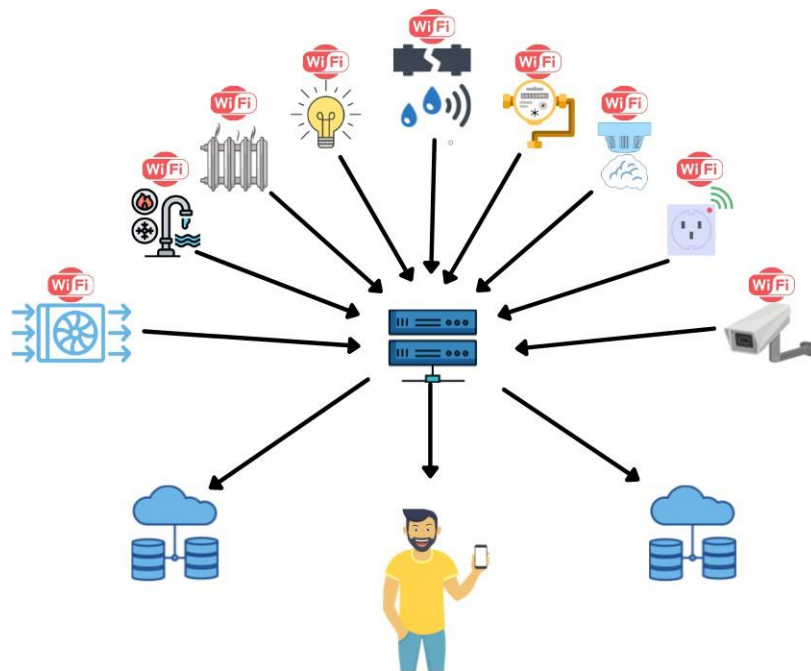


Рис. 3.3 Запит користувача до пристрою інтернет речей через граничні обчислення.

Локальні пристрої - пристрої, пристосовані для виконання певних функцій. Впровадження відбувається набагато швидше ніж при використанні повноцінних шаф автоматики, вони можуть бути використані при домашньому застосуванні та у невеликому офісі [5].

Як ми можемо побачити на рисунку 3.3 між людиною та приладом всього один локальний сервер. Підключення до сервера, може бути фізичним або за допомогою Wi-Fi або каналом 4G. Оброблені дані можуть зберігатись на хмарних серверах для подальшої обробки. Така схема з використанням граничного пристрою значно скорочує час відгуку та дозволяє аналізувати дані у будь-якій час.

У таблиці 3.1 можна побачити порівняння двох способів обробки даних, які були отримані з квартирних пристроїв IoT. У першому випадку це хмарні обчислення, у другому за допомогою граничного пристрою(локальний).

Таблиця 3.1

Порівняння обчислень у хмарі та граничному пристрої

	Хмарні обчислення	Граничні обчислення
Час реакції під час форс мажору	4 хвилини	1 хвилина
Час реакції приладів	3-5 секунд	1-2 мілісекунди
Об'єднання в єдину систему	Якщо всі прилади одного бренду або підключені до однієї хмари	Так
Тип підключення	Wi-Fi, 4G	Кабелем, Wi-Fi, 4G
Автоматичне регулювання	Якщо всі прилади одного бренду	Так
Керування освітленням	Ручне	Ручне/Автоматичне <i>точно відстежувати де і скільки енергії було використано</i>
Керування розетками	Ручне	Ручне/Автоматичне <i>точно відстежувати де і скільки енергії було використано</i>
Відеоспостереження	Так <i>швидкість передачі відео-потoku мала</i>	Так <i>швидкість передачі відео-потoku більша</i>
Контроль протікання рідини	Система оповіщення <i>можливе автоматичне посилення сигналу на перекриття крану, якщо прилади одного бренду або підключені до однієї хмари</i>	Система оповіщення <i>можливе автоматичне посилення сигналу на перекриття крану</i>
Керування водопостачанням	Так	Так <i>можливість робити сценарії автоматизації</i>
Контроль температури	Так	Так <i>можливість робити сценарії автоматизації</i>
Моделювання присутності	Так <i>якщо прилади одного бренду або підключені до однієї хмари</i>	Так
Передача частини даних в будинкову систему, для подальшого аналізу	Ні	Так

Як ми можемо побачити, переваг у граничних обчислень значно більше. Особливо хотілось би виділити: час реакції приладів, реакцію на форс мажорні ситуації, об'єднання в єдину систему та передачу частини даних в будинкову систему для подальшого аналізу. Останнє якраз і розширює можливості граничних обчислень для керуючих компаній, які займаються моніторингом та плановими роботами з системами будинку.

Приклад реалізації граничних обчислень у квартирі наведено в додатку 1 на плані квартири з місцями розміщення обладнання. На плані показано трьох кімнатну квартиру з місцями встановлення різних пристроїв. У кожній кімнаті виконана функція управління освітленням. Реалізація виконується за допомогою розумних ламп та світлодіодних стрічок під'єднаних до граничного пристрою за допомогою Wi-Fi.

Опалення в квартирі виконано за допомогою конвекторів, біля кожного встановлено датчик протікання рідини та кран з приводом для перекриття, який використовується для регулювання. Система опалення регулюється електроприводом відносно вимірам датчика температури, великі кімнати обладнані двома, для більш точних вимірювань. У санвузлах та кухні встановлено датчики протікання рідини, перекриття відбувається за допомогою кранів.

Забезпечення контролю доступу виконано за допомогою камер відеоспостережень, при встановленні режиму «охорони» – камери працюють як датчики «наявності сторонніх осіб». Власнику приходить повідомлення, вмикаються камери, при наявності зловмисників – повідомляється охорона комплексу та відбувається виклик поліції. Усі датчики та сенсори підключені до локального пристрою граничних обчислень при вході в квартиру.

Схема підключення показана в додатку 2. Підключення датчиків протікання рідини, температури, розумних лапочок відбувається за допомогою Wi-Fi. Камери відео нагляду підключені двома способами: за допомогою Wi-Fi та кабелем UTP Cat6a. У нормальному режимі роботи, завдяки кабельному підключенню відбувається постійне живлення камер та



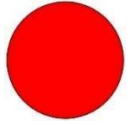

передача даних на граничний пристрій. У аварійному режимі, живлення камер відбувається за допомогою вмонтованої батареї, передача – за допомогою Wi-Fi.

Комплект перекриття конвекторів складається з датчика протікання рідини та сервопривода (нормально відкритий). В момент попадання води на датчик протікання рідини, замикається контакт та відбувається перекриття водопостачання гарячої води до конвектора.

Сервоприводи які перекривають гарячу та холодну воду – нормально відкриті. Вони знаходяться на вході труб в квартиру та перекривають водопостачання у всій квартирі. Після надходження сигналу, відбувається перекриття. Всі використані датчики на прилади можна побачити у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Таблиця використаних датчиків та приладів

Назва пристрою	Позначення на плані	Фото датчика/сенсору	Характеристики
Лампочка з підтримкою ІоТ			Стандарт підключення: <i>ZigBee, Wi-Fi</i>
			Радіочастота: <i>2,4 ГГц</i>
			Живлення: <i>Від мережі 220В</i>
Датчик протікання рідини			Стандарт підключення: <i>Wi-Fi, Bluetooth, ШВВП 2x2.5</i>
			Радіочастота: <i>2,4 ГГц</i>
			Живлення: <i>Від батарейки або сухий контакт</i>

Привід з датчиком протікання рідини			Стандарт підключення: <i>Wi-Fi, ШВВП 2x2.5</i>
			Радіочастота: <i>2,4 ГГц</i>
			Живлення: <i>Від батарейки або мережі 24В</i>
Датчик температури			Стандарт підключення: <i>ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth</i>
			Радіочастота: <i>2,4 ГГц</i>
			Живлення: <i>Від батарейки 3.6V</i>
Привід			Стандарт підключення: <i>ШВВП 2x2.5</i>
			Живлення: <i>Від мережі 24В</i>
Камера			Стандарт підключення: <i>Wi-Fi, UTP-cat5e</i>
			Живлення: <i>Від мережі 24В</i>
Локальний пристрій граничних обчислень			Стандарт підключення: <i>2 порта 10GbE (SFP+), 2 порта 10/100 Мбіт/1GbE, 2 порта 1GbE для управління Wi-Fi з підтримкою шифрування WEP, WPA, WPA2</i>
			Живлення: <i>Від мережі 24В</i>

Граничні обчислення в будинку. Щодня розумні датчики та пристрої генерують 25 ексабайт даних (приблизно 26,8 млрд гігабайт). За підрахунками Seagate, обсяг даних до 2025 досягне 175 зетабайт на день [10]. Бурхливо розвиваються цифрові сервіси: «Безпечне місто», відеоспостереження, білінгові системи ЖКГ, нове покоління мереж 5G, «Розумний дім». Зібрану інформацію потрібно десь зберігати та обробляти. Також старі методи щоденного моніторингу будинків потрібно змінювати, одночасно вписуватись у рамки міських постачальників ресурсів – неможливість в під'єднанні до систем збору показів із лічильників, які впроваджують постачальники.

Нині при проектуванні інженерних мереж будинку вирішується більшість вище згаданих проблем. Враховують усі можливі місця виникнення форс мажорних ситуацій, але швидкість, із якою будують та швидкість змін правил вводу будинку в експлуатацію призводить до того, що управляючі компанії можуть залишитись без деяких переваг АСУ ТП. Через це доводиться набирати персонал, якому необхідно робити обхід із зошитом для запису показань лічильників. Також відбувається труднощі в обробці інформації, це трапляється через помилки ручного запису даних, або при оцифруванні їх.

Щомісячно отримані дані з шаф керування автоматикою та оцифровані записи проходять аналіз на серверах хмарного середовища, для отримання даних для коригування систем. Це виконується щомісячно, впродовж одного – двох років після вводу будинку в експлуатацію. Наслідком є виявлення слабких місць в інженерних мережах будинку, після виконують корегування системи автоматики або заміну приладів.

Системи, дані з яких потрібно аналізувати:

- освітлення;
- електропостачання;
- вентиляція;
- каналізація;
- водопостачання холодної;
- водопостачання гарячої води;

- опалення;
- газопостачання;
- система безпеки;
- ліфти.

При проектуванні розділу АСУТП потрібно виконати вимоги забудовника, дотриматись вказівок держструктур та постачальників ресурсів. Від початку проектування до вводу будинку в експлуатацію проходить до двох – трьох років. У цей час, вказівки держструктур або постачальників ресурсів можуть змінитись, що призводить до перепроєктування або відмови деяких корисних функцій, аби отримати дозвіл на ввід будинку до експлуатації. Більшість забудовників йдуть на відмову деяких функцій, аби тільки не збільшувати вартість забудови, адже квартири вже продані.

Приклад: було розроблену єдину систему диспетчеризації водяних лічильників будинку. Вона містить в собі лічильники загальнобудинкові, поливу території, системи пожежогасіння, квартирні. Обслуговуюча компанія бере лічильники собі на баланс та має систему диспетчеризації. У цей час водоканал вводить нові правила та наполягає в встановленні власних щитів автоматики, аби обробка даних відбувалась на їх серверах. Забудовнику доводиться замінювати систему, відмовляти від диспетчеризації для обслуговуючої компанії, так як доступ до шафи водоканалу немає. Так сама ситуація відбулась з лічильниками тепла.

Як підсумок, можна встановити, що для власників квартир це є плюсом. Через те, що обслуговуюча компанія могла виставляти власну суму за кількість використаного тепла або споживаної води та використовувати ці кошти не на обслуговування мереж будинку. Якщо бути на стороні обслуговуючої компанії, вони втрачають певні функції диспетчеризації і їм доводиться наймати зайвих працівників. На рисунку 3.4 можна побачити як відбувається збір даних для аналізу в хмарі.

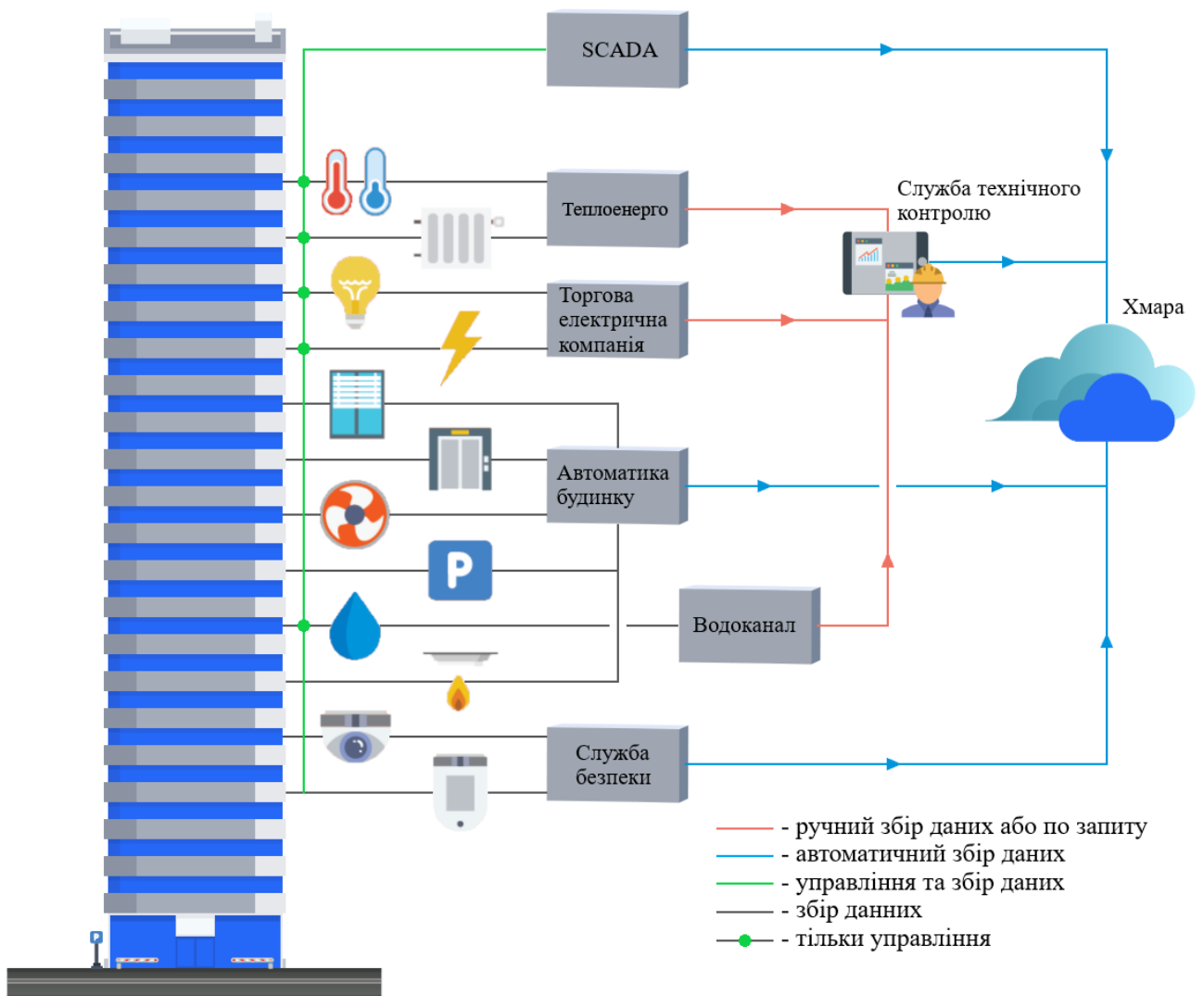


Рис. 3.4. Приклад зв'язку автоматики та хмарних обчислень.

На рисунку 3.4 наведено декілька точок збору даних:

- SCADA – збирає всі аларми системи, робить первинний аналіз, та деякі поправки на систему;
- Теплоенерго – збирає кількість використаного тепла з лічильників;
- ТЕС – збирає дані використаної електроенергії;
- Автоматика будинку (власні шафи автоматики систем) – такі дані є не обов'язковими для аналізу, але при використанні цих даних можна значно зменшити вартість на обслуговування та збільшити термін використання;
- Водоканал - збирає кількість використаної гарячої та холодної води;
- Служба безпеки – дані з камер, датчиків наявності, систем контролю доступу.

Служба технічного контролю робить запит до постачальників ресурсів: теплоенерго; водоканал; торгова електрична компанія; аби отримати дані з лічильників. Зазвичай, відповідь на запит чекати довго, тому інженеру доводиться вручну знімати дані з лічильників. Дані із SCADA автоматики будівлі, та служби безпеки поступають до хмари автоматично.

Усі данні знаходяться на різних серверах, що призводить до затримок у аналізі. Зберігання даних виконується у різний спосіб, що потребує попереднього редагування, що також потребує часу. Якщо дані аналізують способом хмарних обчислень, це також витрати на оренду сервісів.

Можна зробити висновок, що новобудови повинні відповідати таким критеріям:

- виконання вимог замовника;
- швидкість реакції на поломки;
- легкий спосіб аналізу даних;
- зменшення споживання енергії;
- можливість до змін постачальників енергії;
- зменшена ціна на реалізацію або можливість окупності.

Аби вирішити це питання, можливо використовувати граничні обчислення. Вони допомагають у попередньому аналізі даних та дозволять розподіляти дані між користувачами. Ними можуть користуватися як постачальники ресурсів, так і обслуговуючі компанії. Як вище було сказано, забудовникам доводиться створювати власні обслуговуючі компанії, аби дотримуватись того, що вони пообіцяли під час продажу квартир, тому в їх інтересах робити будівлю – розумною, аби її аналізувати, що дозволяє зменшувати використання ресурсів та збільшувати час роботи систем.

Приклад такого, як відбувається аналіз даних у таких проектах можна побачити на рисунку 3.5.

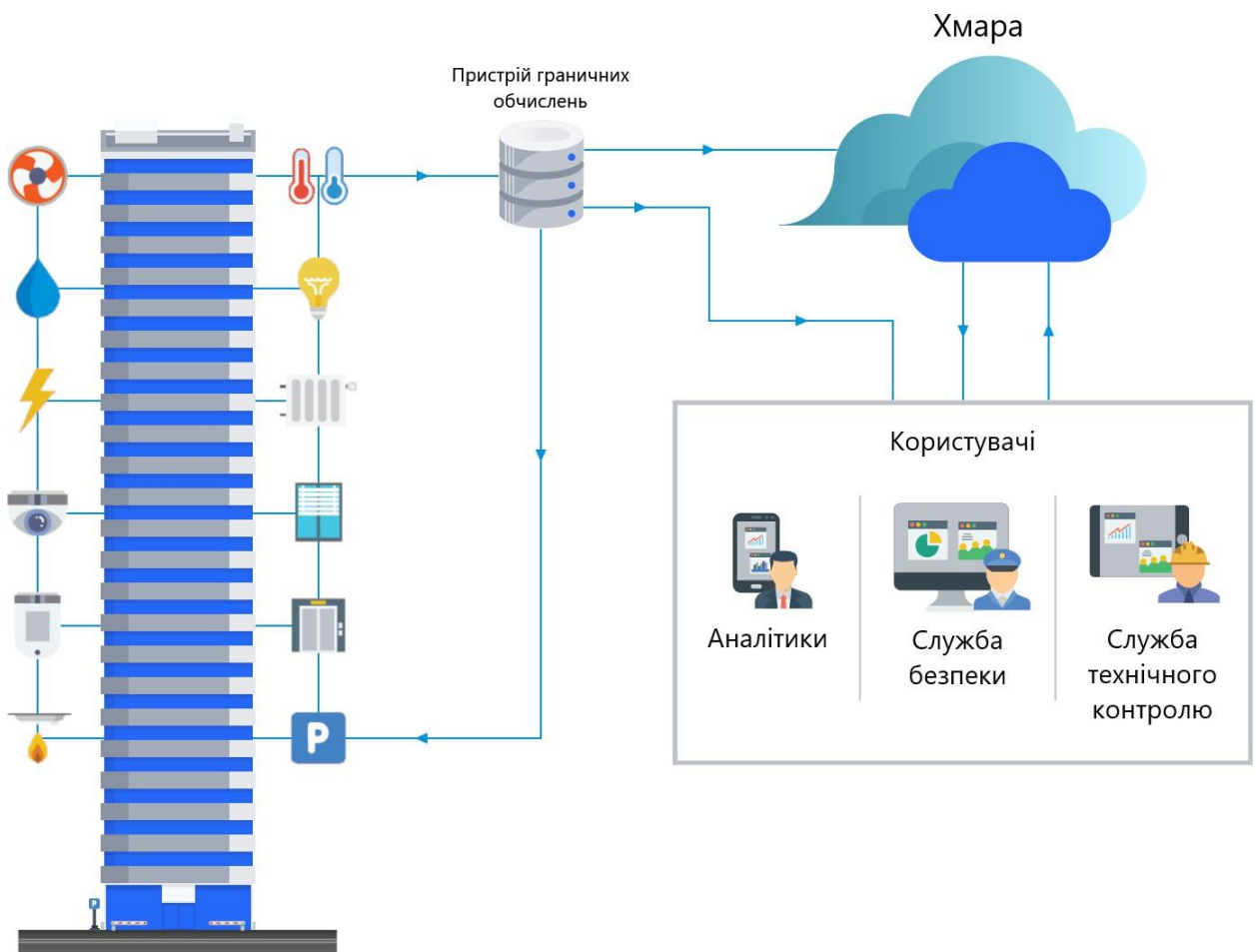


Рис. 3.5. Приклад зв'язку з використанням граничних обчислень.

Як можна побачити на рисунку 3.5, використовуються граничні обчислення для попереднього аналізу даних та розподілення між користувачами. Хмара використовується для зберігання та більш ретельного аналізу, наприклад річного. Усі шафи автоматики підключаються до пристрою периферійних обчислень, налаштовується система. Аналізовані дані можна використовувати для корегування системи в реальному часі.

Граничні обчислення дозволяють відображати ситуацію в реальному часі з затримкою в декілька мілісекунд. Це дуже важливо для зменшення споживання енергії, так як швидкість обробки даних, дозволяє зменшувати час реакції на ввімкнення світла в під'їзді або виявляти забруднений фільтр вентиляції, та зменшувати швидкість двигуна, аби запобігти виходу його з ладу.

Ідея граничних обчислень полягає у можливості підтримувати велику кількість бездротових камер та забезпечувати дешевий автоматизований

аналіз відео. 5G та граничні обчислення з множинним доступом дозволяють вирішити цю проблему. Вони дозволять реалізовувати такі програми, як активний захист, аналіз сцен (наприклад, підрахунок людей, що входять і виходять через двері) [11].

Граничні обчислення дають змогу обслуговуючим компаніям приймати рішення в режимі реального часу для забезпечення надійної доставки енергії в нестандартних ситуаціях. Наприклад, коли пристрій виявляє перебіг в електропостачанні, він терміново передає диспетчеру коротку та точну інформацію [11]. За допомогою цієї інформації диспетчер може точно визначити масштаб та локалізацію відключення, часто ще до того, як клієнт про це повідомить. Завдяки такому доступу до інформації в режимі реального часу та можливості віддаленого реагування, комунальні підприємства одержують інструменти підвищення ефективності, надійності та безпеки мережі.

Також до будинкових пристроїв граничних обчисленнях можливе підключення квартирних (локальних) пристроїв, з дозволу власника квартири. Це дозволяє збільшити кількість даних для аналізу. Наприклад, можливо виявляти причини, чому людина переплачує за електроенергію та не використовує тепло, або виявляти аномальні потреби.

Під час продажу квартири, завдяки наявності граничних обчислень, можливо продавати додаткові функції. Наприклад, під'єднання в єдину систему будинку, задля інформування полумок будинкових систем, що дозволить власнику передбачити вмикання бойлеру. Та й з іншого боку, під час наявності пробою квартирної труби, перекрити будинковий стояк опалення або водопостачання [11].

Згідно порівнянню витрат компанії Wikibon за три роки, на обробку та управління в центральній хмарі (Cloud Only), з витратами при розгортанні дата-центрів Edge при розташуванні центрального дата-центру за 200 миль від кордону мережі, де при такому режимі до 70% даних попередньо обробляються на межі мережі, а в центральну хмару Cloud відправляються

лише відфільтровані та оброблені дані, компанія витрачає значно менше коштів [11], що можна побачити на рисунку 3.6.

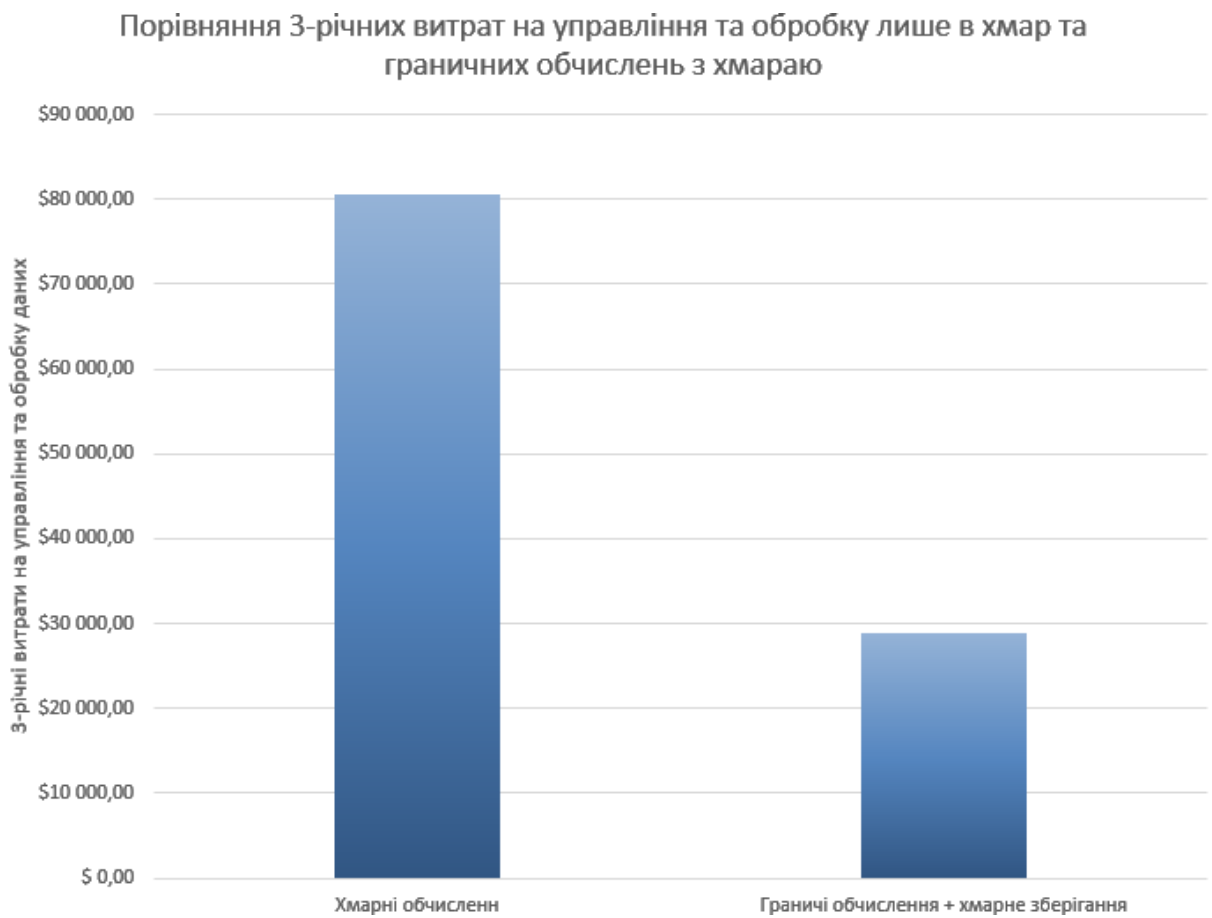


Рис. 3.6 Порівняння витрат на хмарні обчислення та граничні обчислення із хмарним зберіганням.

Як можна побачити на графіку, первинна обробка даних з подальшим зберіганням у хмарі, значно дешевше ніж повністю передавати та обробляти дані у хмарі. Більше детальні економічні показники буде наведено у наступному розділі.

Порівняння обох систем можна побачити в таблиці 3.3

Таблиця 3.3

Порівняння обчислень у хмарі та за допомогою граничного пристрою

	Система з хмарними обчисленнями	Система з граничними обчисленнями
Освітлення	Великий час затримки на управління.	Малий час затримки на управління.
Електропостачання	Неможливість підключення до систем постачальника ресурсів.	Можливо розподіляти інформацію між користувачами, постачальниками ресурсів та управляючою компанією.
Вентиляція	Обробка інформації.	Зменшений час на обробку інформації та реакції на аварії.
Каналізація	Обробка інформації.	Зменшений час на обробку інформації та реакції на аварії.
Водопостачання холодної води	Неможливість підключення до систем постачальника ресурсів. Тільки запит на подання інформації, або ручний збір даних.	Можливо розподіляти інформацію між користувачами, постачальниками ресурсів та управляючою компанією.
Водопостачання гарячої води		
Опалення		
Газопостачання		
Система безпеки		Швидкість передачі та обробки інформації значно більший, що дозволяє оперативно реагувати.
Виконання вимог замовника	Не повне.	Повне виконання, навіть при змінах постачальників ресурсів, адже розподілення інформації відбувається на сервері будинку.
Швидкість реакції на поломки	5-10 хвилин.	1 хвилина.
Легкий спосіб аналізу даних	Первинна інформація зберігається на різних серверах, подальша обробка відбувається в хмарі.	Зберігання та обробка первинної інформації відбувається безпосередньо.

Зменшення споживання енергії	Так, залежність від кількості обробленої інформації.	Так, після кожної обробки інформації, система може вносити правки в інженерні мережі та аналізувати зменшення.
Можливість до змін постачальників енергії	Можливо, але приносить великі витрати на зміну обладнання.	Так, завдяки будинковому серверу система розподілення інформації гарно відпрацьовую.
Зменшена ціна на реалізацію або можливість окупності	Можливо, але якщо проектування систем було виконано погано. Аналіз даних допоможе виявити проблеми системи, усунення яких дозволить продовжити роботу години системи.	Ціна на обробку інформації на границі, значно менша ніж в хмарі. Завдяки швидкості аналізу даних, окупність системи можлива.

У додатку 3 показано план поверху з місцями розміщення обладнання. На плані показано другий поверх будинку. Головний пристрій граничних обчислень знаходиться в ніші по осі 2 між осями Б-В. Так як пристрій знаходиться в ніші, до неї підведений вентиляційний канал.

До пристрою, за допомогою кабелю, підключаються квартирні лічильники тепла та лічильники холодної, гарячої води. На поверсі виконана функція управління освітленням, за допомогою камер з датчиками руху. Камери встановлені таким чином, аби повністю покривати рух людини по поверху. Граничні обчислення дозволяють аналізувати обличчя людини, яка вийшла з ліфту, в реальному часі. Якщо це буде людина, яка не проживає на цьому поверсі, охорона буде попереджена. Якщо ж ця людина не з цього будинку, охорона піднімиться на поверх та перевірить.

Автоматика ліфтів підключається до системи. Як було сказано вище, квартирні пристрої можуть підключатись до будинкового, що можна побачити на плані. За обробку інформації на будинковому сервері можуть брати окрему плату, завдяки цьому, людина може отримати охорону в період своєї

відсутності в квартирі та надати доступ до своєї квартири охороні. Усі інші інженерні мережі підключаються за допомогою кабелю UTP, до блоку периферійних обчислень. Якщо дальність від шафи до пристрою перевищує сто метрів, підключення відбувається за допомогою оптоволоконного кабелю.

Схема підключення показана в додатку 4. До граничного пристрою за допомогою мережі Ethernet відбувається підключення всіх шаф автоматики інженерних мереж. Через те що пристрій може знаходитися на відстані більше ніж 100 метрів від шаф, підключення відбувається за допомогою оптоволоконного кабелю. Граничний пристрій може зберігати, обробляти інформацію, та вносити корективи в системи, з подальшим аналізом.

Підключення до шаф автоматики ліфтів та систем пожежогасіння відбувається за допомогою сухого контакту, граничний пристрій може тільки зберігати та відображати інформацію про стан системи. Всі використані датчики на прилади можна побачити у табл. 3.4.

Граничні обчислення можна впроваджувати не тільки у квартирах та будинках, а також у містах. По всьому світі все більше обчислень і обробки даних відбувається на межі мережі, де знаходяться пристрої та користувачі. Розумні міста починають використовувати граничні обчислення, які дають змогу швидше аналізувати дані і таким чином дають статистику більш своєчасним і релевантним способом.

Відеокамери є одними з найважливіших датчиків IoT. Маючи приблизно один мільярд камер, розгорнутих по всьому світу, вони генерують величезну кількість даних, які в поєднанні зі сприйняттям і міркуваннями з підтримкою штучного інтелекту є ключем до перетворення звичайних приміщень у розумні простори [12].

Таблиця використаних датчиків та приладів

Назва пристрою	Позначення на плані	Фото датчика/сенсору	Характеристики
Лампочка з підтримкою IoT			Стандарт підключення: <i>ZigBee, Wi-Fi</i>
			Радіочастота: <i>2,4 ГГц</i>
			Живлення: <i>Від мережі 220В</i>
Лічильник холодної, гарячої води			Стандарт підключення: <i>RS-485</i>
			Живлення: <i>Від батарейки 3.6V</i>
Лічильник теплової енергії (тепло-лічильник)			Стандарт підключення: <i>RS-485</i>
			Живлення: <i>Від батарейки 3.6V</i>
Камера			Стандарт підключення: <i>UTP-cat5e</i>
			Живлення: <i>Від мережі 24В</i>
Пристрій граничних обчислень			Стандарт підключення: <i>UTP-cat5e</i>
			Живлення: <i>Від мережі 220В</i>

Граничні обчислення у містах. Оскільки кількість датчиків Інтернету речей зростає, більше даних генерується у віддалених краях. Надсилання даних від датчиків на периферії до центрів обробки даних є надзвичайно дорогим. Однак переміщення даних має вирішальне значення для успішної роботи додатків AI, а це означає, що ці програми схильні до великих грошових витрат і затримок під час обробки через хмару. Надсилання даних до центрів обробки даних не є ідеальним у контекстах, де кожна секунда важлива, наприклад, для керування трафіком у режимі реального часу або вирішення невідкладних медичних ситуацій [12].

Міста все частіше впроваджують рішення для хмарних обчислень, але тепер мають розгортати пристрої та мережеві активи і керувати ними аж до межі мережі [12]. Сюди входить багато датчиків Інтернету речей, які лежать в основі платформ розумних міст, які контролюють дані про трафік, інфраструктуру, рівень води та інші фактори навколишнього середовища.

Замість того, щоб надсилатися в єдиний централізований центр обробки даних, дані периферійних обчислень надходять до сусідньої хмари, яка, по суті, є невеликим центром обробки даних, який може складатися з однієї стійки комп'ютерів у шафі або невеликого дисководу в автомобілі, який використовує затримку, еластичність та інші функції хмарних обчислень.

Наступні приклади ілюструють, як граничні обчислення використовувалися для трансформації операцій та підвищення безпеки в усьому світі:

Щоб зменшити затори на дорогах, Nota розробила рішення для контролю дорожнього руху в режимі реального часу, яке використовує граничні обчислення та комп'ютерний зір для визначення обсягів руху, аналізу заторів та оптимізації керування сигналами світлофора на перехрестях. Рішення Nota використовуються містами для покращення транспортного

поток, економії витрат, пов'язаних із заторами, та мінімізації часу, який водії проводять у заторі.

Щоб оцінити та уникнути операційних небезпек у містах, Viisights допомагає керувати операціями в містах Ізраїлю. додатку для периферійних обчислень від Viisights допомагає міській владі виявляти події в густонаселених районах та керувати ними. Його виявлення поведінки в режимі реального часу допомагає чиновникам передбачити, як швидко розвивається подія, і визначити, чи є причина для тривоги або необхідність вжити заходів.

Щоб врятувати життя на пляжах, Sightbit розробив додаток для виявлення зображень, який допомагає виявляти небезпеку на пляжах. Швидкість дуже важлива в цих ситуаціях життя або смерті, тому обробка виконується на межі. Система виявляє потенційні небезпеки, такі як розривні течії або небезпечні умови океану, що дозволяє органам влади запровадити процедури порятунку життя.

Щоб підвищити ефективність роботи авіакомпаній і аеропортів, аеропорти по всьому світу співпрацюють з ASSAIA, щоб використовувати граничні обчислення для покращення часу виконання та скорочення затримок. Додаток для відеоаналітики ASSAIA з підтримкою штучного інтелекту дає статистику, яка допомагає авіакомпаніям та аеропортам приймати кращі та швидші рішення щодо потужності, стійкості та безпеки.

Підключені автомобілі, оснащені граничними пристроями, можуть збирати дані від різних датчиків і реагувати в режимі реального часу на ситуації на дорозі. Ця функція буде життєво важливою при розробці автономних транспортних засобів. Граничні обчислення також можуть увімкнути автоматичні конвої транспортних засобів. Група автомобілів або вантажівок може рухатися близько один за одним у колоні, економлячи паливо та зменшуючи затори. Водій потрібен лише для першого транспортного засобу, оскільки інші машини можуть слідувати за першим і спілкуватися без затримок.

Міста почали використовувати граничні обчислення для швидкої розумного міста. Наприклад, лабораторія «Living Edge», яка розташована в університеті Карнегі-Меллона, використовує місто Піттсбург, як тестовий стенд для вивчення периферійних обчислень і програм. Антени, розміщені по всьому місту, підключені за допомогою оптоволоконного кабелю до хмари в лабораторії, до якої можна підключити сигнали з мобільних пристроїв у цих районах. Жителі, інженерні системи будинків, заводи – генерують великий обсяг даних, які використовують для тестування системи, в той час інженери випробують та вносять правки до системи аби зробити обробку інформації з мінімальною затримкою.

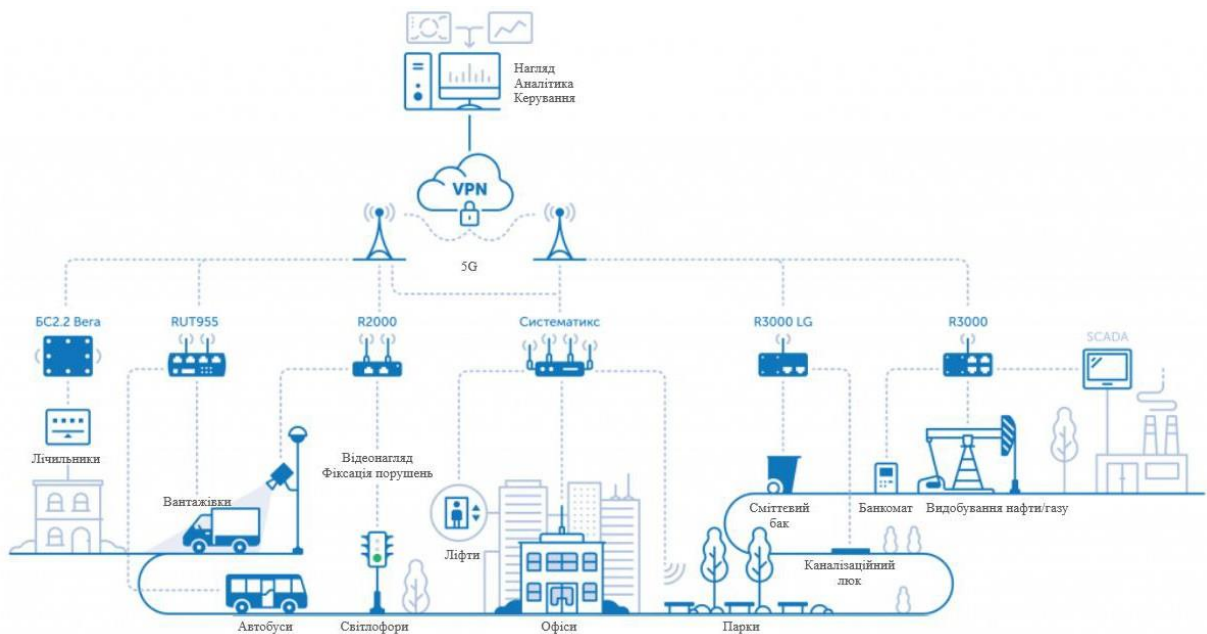


Рис. 3.7. Граничні обчислення в місті

Лас-Вегас переходить до Edge Computing, щоб підвищити безпеку дорожнього руху. Місто використовує програмне забезпечення Dell для периферійних обчислень і датчики від NTT для моніторингу руху та аналізу даних, щоб підвищити безпеку дорожнього руху, особливо на вулицях з одностороннім рухом. У Лас-Вегасі випробовують нові інфрачервоні камери та датчики на основі лідарів, які відстежують рух, не ідентифікуючи людей за кермом або ходять і крутять педалі по вулиці. Якби місто знало, скільки аварій

сталося, воно могло б змінити знаки та інші заходи для підвищення безпеки [14].

Після обробки даних аналітики з'ясували, що в місті не було багато аварій на односторонніх вулицях, були люди, які йшли не в той бік. Коли аварії трапляються на вулицях з одностороннім рухом, міська влада прагне швидко виправити ситуацію. Однак на цій вулиці могло бути не так багато водіїв, які рухалися в одну сторону, а на інших вулицях могло бути пусто.

Датчики які збирають аудіо інформацію, щоб допомогти визначити місцезнаходження автомобілів, використовують програмне забезпечення периферійних обчислень на датчику. Потім місто збирає метадані з датчиків і зберігає їх у центральній базі даних [14]. Замість того, щоб надсилати всі дані назад до ядра, намагатися їх проаналізувати та надіслати щось назад, навіть якщо це може зайняти мілісекунди, це дійсно не корисно, якщо ви намагаєтесь змінити світло із зеленого на червоний на основі умови .

На рис 3.8 зображено схему підключення граничних пристроїв до центру обробки даних. Передача даних від камер, банкоматів, автобусів, машин відбувається за допомогою мережі 5G. Управління освітленням та світлофорами також через мережу 5G. До центру обробки даних, за допомогою оптичного кабелю, підключаються всі інші граничні пристрої, які знаходяться в будинках, лікарнях, пожежних частинах та в інших міських організаціях. Граничні обчислення дозволяють місту швидше приймати рішення та покращувати безпеку руху в режимі реального часу.

Оскільки ця технологія дозріває, а міська влада стає більш зручною для неї, вони можуть використовувати граничні обчислення, щоб швидше надавати уявлення про свої послуги розумного міста . Це те, що має бути привабливим для великих і малих міст.

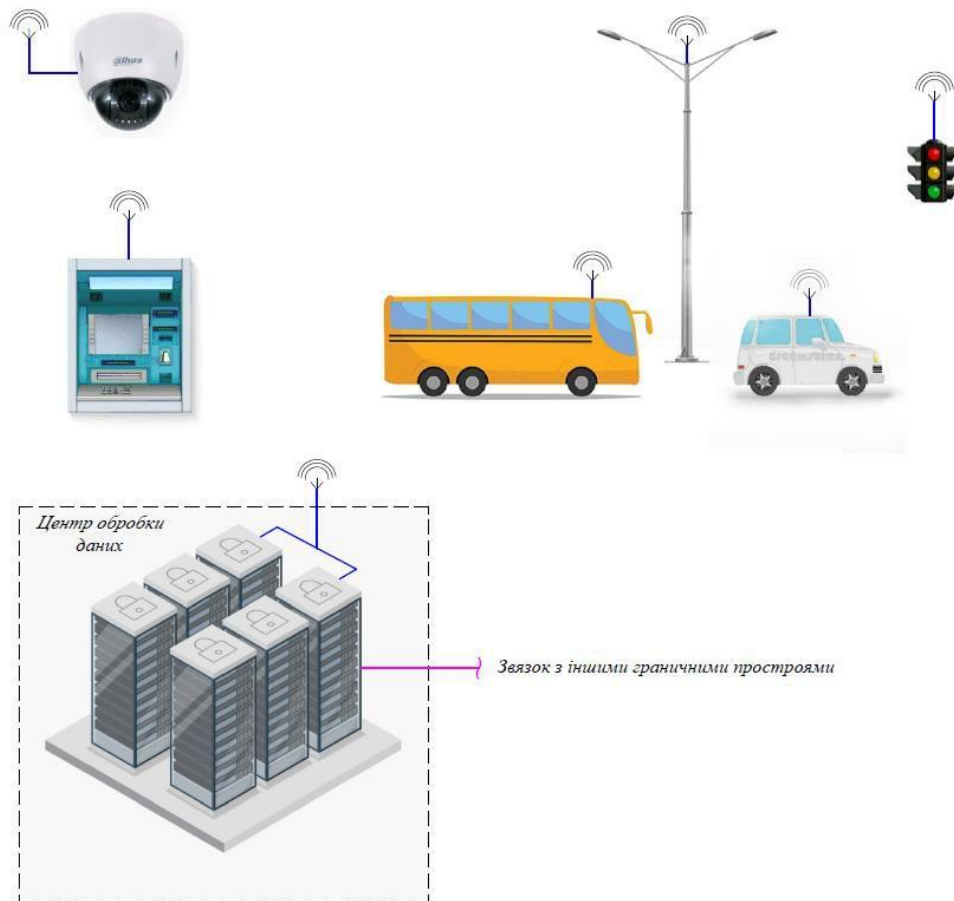


Рис 3.8 Схема підключення граничних пристроїв до центру обробки даних

Аналітика Edge може дозволити муніципалітету розумного міста краще керувати та зберігати ресурси, включаючи енергію, воду та свіже повітря. Аналіз на основі датчиків IoT у системах водопостачання та утилізації відходів, забезпечує кращий моніторинг та управління, а інноваційні електричні мережі підвищують енергоефективність як для підприємств, так і для споживачів. Аналітика Edge також допомагає в моніторингу та контролі операцій в будівлі, таких як опалення, вентиляція, кондиціонування повітря, освітлення та безпека, щоб створити найкращі умови для життя віртуально й автоматично.

За допомогою датчиків Інтернету речей у мережі 5G можна відстежувати потік транспорту, наявність місць для паркування, використання комунальних послуг та керування вуличним освітленням. Органи влади можуть використовувати передову аналітику, щоб знайти практичні рішення

для збереження енергії, оптимізації водних та енергетичних ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище [15]. Під час пандемії ми помітили певні тенденції переїзду людей із перевантажених міст у менш людні райони з кращими послугами. Використання технологій, мінімальних заторів і покращення управління відходами можуть допомогти залучити нових мешканців і збільшити економічні можливості в громаді.

Edge Analytics і Edge AI дають змогу передовим і безпечним системам відео, датчиків і комунікацій активно контролювати громадські місця та правопорядок. За допомогою граничного штучного інтелекту можна запобігти злочинам чи іншим катастрофічним подіям або зменшити їх до того, як вони загрожують громадській безпеці. Датчики, вбудовані в критичну інфраструктуру, таку як мости та електростанції, можуть відстежувати структурні дані для виявлення потенційних небезпек, захищаючи громадян та економічний добробут міста. Дрони, оснащені датчиками, можуть контролювати рух транспортних засобів, натовпи, будівельні майданчики та райони стихійного лиха, допомагаючи безперервно стежити за умовами та підтримувати службу швидкого реагування. Загалом, громади виграють від підвищення довіри до правоохоронних органів та ліквідації наслідків стихійних лих [16].

Розумна охорона здоров'я. У сфері охорони здоров'я спостерігається величезний ріст кількості підключених пристроїв. Граничні обчислення та периферійна аналітика можуть значно зменшити цей тягар. Мобільний пристрій лікаря може в режимі реального часу записувати дані пацієнтів на підключену аналітичну платформу на периферії. Пацієнтам більше не доведеться чекати результатів аналізу, що значно зменшить кількість відвідувань.

Концепція спільної межі стане ще одним засобом, в якому географічно розосереджені дані об'єднуються в комбінований вид, що використовує граничний пристрій. Наприклад, штучний інтелект в граничних обчисленнях, останнім часом набуло актуальності в офтальмології, завдяки його здатності

виявляти клінічно значущі ознаки для діагностики та прогнозу. Це призвело до того, що різні системи машинного зору були вбудовані в офтальмологічні пристрої для візуалізації, що дозволило автоматично отримувати зображення, підключеної до смартфона.

Трансформаційний потенціал граничних обчислень майже безмежний. Швидкість мереж 5G у поєднанні з тим фактом, що локальна обробка може бути розвантажена на межі мережі, робить пропозицію про периферійну аналітику дуже сильною. Зменшена затримка та підключені інтелектуальні пристрої, що спілкуються один з одним, роблять високий стрибок від поточної парадигми, яка вимагає надсилання великих шматків даних назад у хмару для аналітичної обробки та аналізу. Автономне прийняття рішень і когнітивний інтелект на пристроях або граничній мережі знижують затримку обробки та прийняття рішень [16].

Гранична аналітика в 5G не буде обмежена традиційною описовою аналітикою і продовжить розвиватися. Ця потужна технологія здатна вчитися з контексту, передбачати, що станеться далі, призначати наступні найкращі дії або рішення, а також вчитися на минулих моделях поведінки, щоб прийняти найбільш оптимальне рішення. Для повністю автономних додатків периферійна аналітика автоматизує наступні дії в режимі реального часу. Зі швидкістю 5G буде збиратися та оброблятися більше інформації, а аналітичні дані, згенеровані на периферії, все більше стимулюватимуть прийняття рішень, що призведе до додатків когнітивного інтелекту. Майбутнє розумних міст залежить від 5G і використання периферійних обчислень, щоб допомогти містам думати самостійно.

Граничні обчислення у містах можливо використовувати для модернізації застарілих будівель. Така система дозволить скоротити час на аналіз стану будинку, з результату якого, можна буде зрозуміти, підлягає будівля зносу чи модернізації.

3.2 Граничні обчислення для модернізації застарілих будівель

Термін «капітальний ремонт» застосовується щодо реконструкції та модернізації існуючих житлових та громадських будівель. Основні факти про капітальний ремонт існуючих будівель:

1. Основна частка існуючих будівель належить до 1960-1980 років будівництва;
2. У даний час спостерігається суттєве зношування будівель. Безліч будівель потребує капітального ремонту, що включає як модернізацію внутрішньої інженерної інфраструктури, а й конструктивних елементів;
3. Типове проектування будівель виконувалося без урахування вимог до енергетичної ефективності через відсутність відповідної нормативно-правової бази на той час;
4. Постійно підвищуються тарифи на енергетичні ресурси, що впливають на рахунки за енергоспоживання для кінцевих споживачів, зростаюча мотивація;
5. Теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій існуючих будівель, а також системи ОВК є застарілими та неефективними[17].

Категорії існуючих будівель, які можуть підпадати під реконструкцію або перебудову: громадські (школи, лікарні, дитячі садки тощо), багатоквартирні, приватні житлові будинки та нежитлові (комерційні будівлі).

Усі перелічені категорії будинків мають:

- Різні форми власності (державна форма власності для муніципальних будівель, товариство власників житла, індивідуальна тощо) та відповідні метод управління будівлею
- Різні вимоги до енергетичної ефективності (обов'язкове виконання вимог для існуючих муніципальних будівель у рамках впровадження муніципальних програм енергозбереження, різні зобов'язання щодо визначення класу енергетичної ефективності тощо).
- Різні джерела фінансування капітального ремонту будівель (програми міських адміністрацій, всеукраїнські програми капітального ремонту,

власні накопичення товариств власників житла, приватні інвестиції тощо).

- Різна зацікавленість та мотивація у проведенні ремонту, включаючи зацікавленість у проведенні Енергоефективної модернізації.

У Міністерстві регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ України провели обговорення законопроекту, який має на меті вирішити проблему старого житлового фонду в країні. Як повідомив заступник голови відомства, у реконструкції житлових будівель мають бути зацікавлені мешканці будинків. Вони мають отримати преференції у вигляді:

- збільшення площі житла;
- виплати грошової компенсації;
- надання квартир з ремонтом у тому адміністративному районі, де розташований старий будинок.

Заступник голови відомства повідомив, що у 2021 році в Україні існує два вирішення проблеми старих житлових об'єктів:

1. знесення з подальшим будівництвом нових будинків;
2. реконструкція будинків старого житлового фонду.

Під час обговорення висловлювалися думки щодо необхідності повної заміни всіх комунікацій мікрорайону під час знесення будівель. Необхідно повністю змінити інженерію, каналізацію, водопостачання, електрику, реконструювати інфраструктуру у житловому масиві, а не в одному будинку. Якщо будівлю знести неможливо, необхідно передбачити варіант реконструкції. Такі рішення необхідно ухвалювати на рівні місцевої влади[17].

Вимоги щодо проведення ремонту того чи іншого типу будівлі визначаються на підставі чинного законодавства:

- Загальні положення про ремонт, основні ключові показники, які необхідно досягти відповідальності, а також список основних рекомендованих ремонтних робіт, встановлених на державному рівні

- Вужчі вимоги до порядку, обсягу виконуваних робіт, а також термінів визначено на основі регіональної нормативно-правової бази, що бере до уваги особливості регіону
- Усі технологічні параметри: величина питомих енерговитрат, вимоги до огорожувальних конструкцій та інженерних систем, включаючи вимоги до енергетичної ефективності існуючих будівель, визначених на підставі будівельних, нормативних та інших документів.

Визначення потреби в капітальному ремонті чи реконструкції будівель показано в таблиці 3.5

Таблиця 3.5

Таблиця визначення стану будинку

Показником фізичного зносу	Загальна характеристика технічного стану будівель	Потреба капітального ремонту
до 10%	Несправності основних будівельних конструкцій та інженерного обладнання відсутні. Існують незначні ушкодження окремих елементів.	Технічне обслуговування та поточний ремонт
до 20%	Наявність незначних несправностей інженерного обладнання, даху, фасадів, благоустрою. Поточний ремонт окремих елементів інженерного обладнання та інших систем	Поточний ремонт окремих елементів інженерного обладнання та інших систем
до 30%	Несправності фундаментів, стін, перекриття, перегородок відсутні або незначні. Віконні та дверні заповнення, покриття підлог мають значні пошкодження. Несправності дахів, інженерного обладнання, зовнішніх комунікацій незначні. Експлуатація будівлі можлива з обмеженнями.	Для забезпечення нормальної експлуатації необхідний капітальний ремонт будівлі із відновленням або заміною несправних елементів

до 40%	Фундаменти, стіни, перекриття, перегородки мають значні несправності при обмеженому розповсюдженні. Віконні та дверні заповнення, дах, інженерне обладнання мають значні несправності при їх масовому поширенні по всій будівлі. Експлуатація можлива зі значними обмеженнями	Для забезпечення нормальної експлуатації необхідний капітальний ремонт з відновленням або частковою заміною фундаментів, стін та повною заміною даху, перекриття, перегородок, інженерного обладнання
від 40% до 70%	Фундаменти, стіни, перекриття, перегородки мають значні несправності при їхньому масовому поширенні по всій будівлі. Експлуатація має бути негайно припинена.	Потрібний негайний капітальний ремонт (реконструкція) всієї будівлі з відновленням фундаментів, стін та повною заміною даху, перекриттів, перегородок, підлог.
більше 70%	Основні будівельні конструкції будівлі не здатні виконувати задані функції через високе фізичне зношування. Експлуатація має бути негайно припинена. Забезпечується проведення охоронно-підтримувальних робіт	Капітальний ремонт є недоцільним. Будівля – пам'ятка архітектури частково розбирається та відновлюється у первісному вигляді. Рядова забудова – зноситься.

В Україні відсоток будівель із показником фізичного зносу від 40% та більше, всього 3%, це означає, що більшість застарілих будівель потребують тільки модернізації [17].

Енерго-аудит – перший і дуже важливий етап, на якому визначаються числові дані щодо тепловтрат саме в даному будинку та заходи для підвищення енергоефективності. Проекти будинків – схожі, але вони виготовлені з різною якістю та у різний час, кожен будинок має свої особливості [18]. Граничні можливості, дозволяють реалізувати швидку обробку даних, можливість підключення бездротових датчиків, та зменшену вартість на обробку даних ніж у хмарі.

Ці заходи повинні бути описані докладно по всіх конструктивних елементах будинку. А саме: де встановити датчики, які саме проблеми виникають у власників, як утеплити горища та підвал, як утеплити стіни, дах, що робити з віконними та дверними блоками, як модернізувати системи опалення, які прилади обліку та контролю енергії рекомендується встановити. Проводиться оцінка, яку економію енергоресурсів дасть здійснення кожного із запропонованих заходів, а також економія загалом по дому; оцінюється приблизна вартість робіт з термомодернізації та термін їхньої окупності для даного будинку (кожної окремо та в цілому).

Швидкодія граничних обчислень допоможе скоротити час на модернізацію такого будинку. Завдяки річному аналізу даних з різних датчиків, можливо буде побачити, з чого саме потрібно почати. Наприклад, в одному будинку це може бути перевитрата тепла з вікон, в іншому – дах, а в третьому взагалі горище. Після аналізу 20% однотипних будинків, можна сказати з чого саме, потрібно починати модернізацію, що скорочує витрати на однотипний аналіз. Але, аналізувати дані після модернізації також потрібно задля виявлення погрішностей у програмі та подальшого створення розумного міста.

Вартість граничних обчислень, енерго-аудиту, проекту модернізації, вартість матеріалів та робіт для її проведення становлять досить велику суму. Однак, якщо правильно виявити місця витоку тепла та усунути їх, то подальша економія значно перевищить початкові витрати.

Українська компанія проаналізувала дані більш як двадцяти проектів модернізації багатоповерхових будинків, реалізованих у різних регіонах України. Збір даних відбувався вручну, протягом двох років, до модернізації та після. Аналіз не включає в себе модернізацію електропроводки та заміни основних освітлювальних приладів. Ця статистика складена за єдиною методикою оцінки енерговитрат – як до проведення робіт із утеплення та переобладнання, так і аналізу отриманої економії та витрат після повної модернізації. Дані включали характеристику об'єктів, витрати на оплату

енергоносіїв до та після робіт, тарифи, суми інвестицій постатейно та в цілому, річну економію енергоносіїв у натуральному та грошовому коефіцієнті. Було враховано суми, витрачені на утеплення фасаду будинку та даху (покриття будинку), технічного підпілля, на модернізацію інженерних систем будівлі та заміну старих вікон та дверей, і в результаті визначили отриману від цього економію. Таким чином, дані для аналізу факторів впливу на тепловтрати на різних об'єктах цілком можна порівняти.

Об'єкти, охоплені даним аналізом, були збудовані в період 1955-2008 років. Вони мають різні розміри, поверховість, особливості інженерних мереж і належать в основному до так званих «хрущовок» та дев'ятиповерхових «панельок». Тому аналіз даних найкраще проводити не за абсолютними цифрами, а за відносними значеннями[18].

Витрати на модернізацію по видам виконаних робіт



Рис. 3.7 Діаграма витрат на тепло модернізацію за видами виконаних робіт.

На рис. 3.7 показано відносні суми інвестицій для проведення кожного виду робіт із тепломодернізації. Видно, що найбільші вкладення відносяться до утеплення фасаду будинку, утеплення перекриття над технічним підпіллям і стін, що промерзають, і на модернізацію інженерних систем будівлі. Наприклад, площа утеплення фасадів становить у типової панельної дев'ятиповерховий близько від 5 000 до 10 000 м² (залежно від кількості

під'їздів), і це коштує вагому суму. Утеплення технічного підвалу, в якому зазвичай знаходиться все теплове обладнання будинку, теж високо витратний розділ кошторису. Модернізація інженерних систем у середньому становитиме третину всіх витрат (34%).

Після модернізації витрати теплової енергії за опалювальний сезон знизилися в середньому на 50%. Таким чином, через недостатнє утеплення будівельних конструкцій – дахів, сходових кліток, горищ, підвалів, стін, фундаментів тощо. – губилося щонайменше 50% тепла. Це означає, що будинок даремно «розпорошував» назовні половину того тепла, яке йому призначалося і постачалося, і при цьому платив за нього [18].

Відповідно, в неутепленому будинку в хід йшли електрообігрівачі, включалися газові плити та духовки для обігріву, що ще й дуже небезпечно. При цьому електричні мережі зазнавали наднормативного навантаження, марно спалювалася величезна кількість газу і т.п. По стінах через погану вентиляцію текли струмки конденсату, згодом з'являвся грибок.

Після термомодернізації власникам будинку не довелося використовувати додаткові джерела тепла та нести додаткові витрати на обігрів свого житла, тому середній рахунок за тепло, газ та електрику завжди знизився в 2,1–3,7 рази, в середньому – практично втричі (на 195,3%).

Звичайно, залежно від типу будови дані витрат та внеску в економію сильно відрізняються. Будинки будівлі 50-х років, як правило, мають потужні стіни, але давно застарілі інженерні системи. І хоча внесок від заміни інженерного обладнання тут великий, найбільший ефект для будинків такого типу дали роботи з утеплення підвальних приміщень.

Будинки будівлі 60-х років (хрущовки) очікувано показали, що утеплення будинку (фасадів, підпілля, дахів), на яке в середньому було витрачено близько 59,7% (менше двох третин витрат), згодом буде економити три чверті грошей – середній внесок через утеплення оболонки будинку в економію грошей становив 76,5% за середнього зниження загальнобудинкового рахунку в 2,61 разу. Інвестиції в утеплення фасаду

(приблизно 31% від усіх витрат) внесли половину в загальну економію виплат мешканців (49,1%).

Панельні 9-10-поверхівки будівлі 1978-1997 років, у яких стіни в сенсі теплоізоляції кращі, проте і відносна площа фасадних поверхонь побільше, в результаті модернізації теж показали високу ефективність від утеплення конструкцій, що захищають. Хоча заміна інженерних мереж показала тут дещо кращий результат порівняно з хрущовками – за 34% від усієї вартості робіт внесок в економію енергії (а отже – грошей) становив 25,7%.

Цікаво, що хоча роботи в технічних підвальних приміщеннях можна віднести до робіт з утеплення, вони дають найбільший ефект одночасно з зміною інженерних систем будівлі, і теж повинні виконуватися комплексно.



Рис. 3.8. Ефективність інвестицій у роботи з теплодернізації: мінімальне, максимальне та типові значення

Діаграма на рис. 3.8 показує ефективність інвестицій (EI) від вкладення в роботи з теплодернізації: мінімальне, максимальне та типові значення. Вони показують, що позитивний вплив від робіт із утеплення оболонки будівлі

– найбільший. Ретельно та правильно утеплені зовнішні стіни, верхні технічні поверхи, добре гідро- та теплоізольовані підвальні приміщення та дахи вносять в економію енергоресурсів найбільший внесок, і це окупається найшвидше. На цьому не потрібно економити – ні на матеріалах, ні на якості робіт, що проводяться. Тим більше потрібно розуміти, що ніякі роботи по «клаптиковому» зовнішньому утепленню фасадів або спроби мешканців якось утеплитися зсередини не дають результатів, більше того, можуть завдати шкоди будівлі в цілому. Тільки комплексне утеплення фасадної оболонки перевіреним технічним рішенням та сертифікованими матеріалами.

Розкид параметрів результатів модернізації, що відображено на діаграмі на рис. 3.8, пояснюється різницею у стані, влаштуванні кожного конкретного будинку, віці будівлі, включаючи фактор якості будівництва цього будинку. Крім того, цифри відрізняються через локальні тарифи.

Якщо замінити ручний аналіз даних на автоматизований, а саме з використанням граничних обчислень, це значно скоротить час на аналіз. У цей час паралельно змонтовані розумні лампочки, датчики та інші засоби автоматизації – дозволять економити кошти в процесі аналізу будинку.

Етапи впровадження граничних обчислень для модернізації будинку:

1. Монтаж граничного пристрою;
2. Монтаж датчиків для аналізу стану будинку;
3. Заміна лампочок;
4. Встановлення лічильників тепла, холодної та гарячої води;
5. Після первинного аналізу визначити, що підлягає негайного ремонту:
 - a. Утеплення фасаду будинку;
 - b. Утеплення перекриття над технічним підпіллям;
 - c. Модернізація інженерних мереж;
 - d. Заміна вікон та дверей;
 - e. Утеплення покрівлі;
6. Виконання негайного ремонту;

7. Проаналізувати вхідні данні та зробити висновок, з чого саме потрібно модернізувати з точки зору вигоди.

Проаналізовані дані можливо застосувати в процесі модернізації однотипних будинків, що також скорочує кількість витрат та час на модернізацію всього міста. Як було сказано вище, процес модернізації дуже затратний, але це кращий варіант ніж повна перебудова будинку. Можна виділити такі переваги та недоліки:

Недоліки:

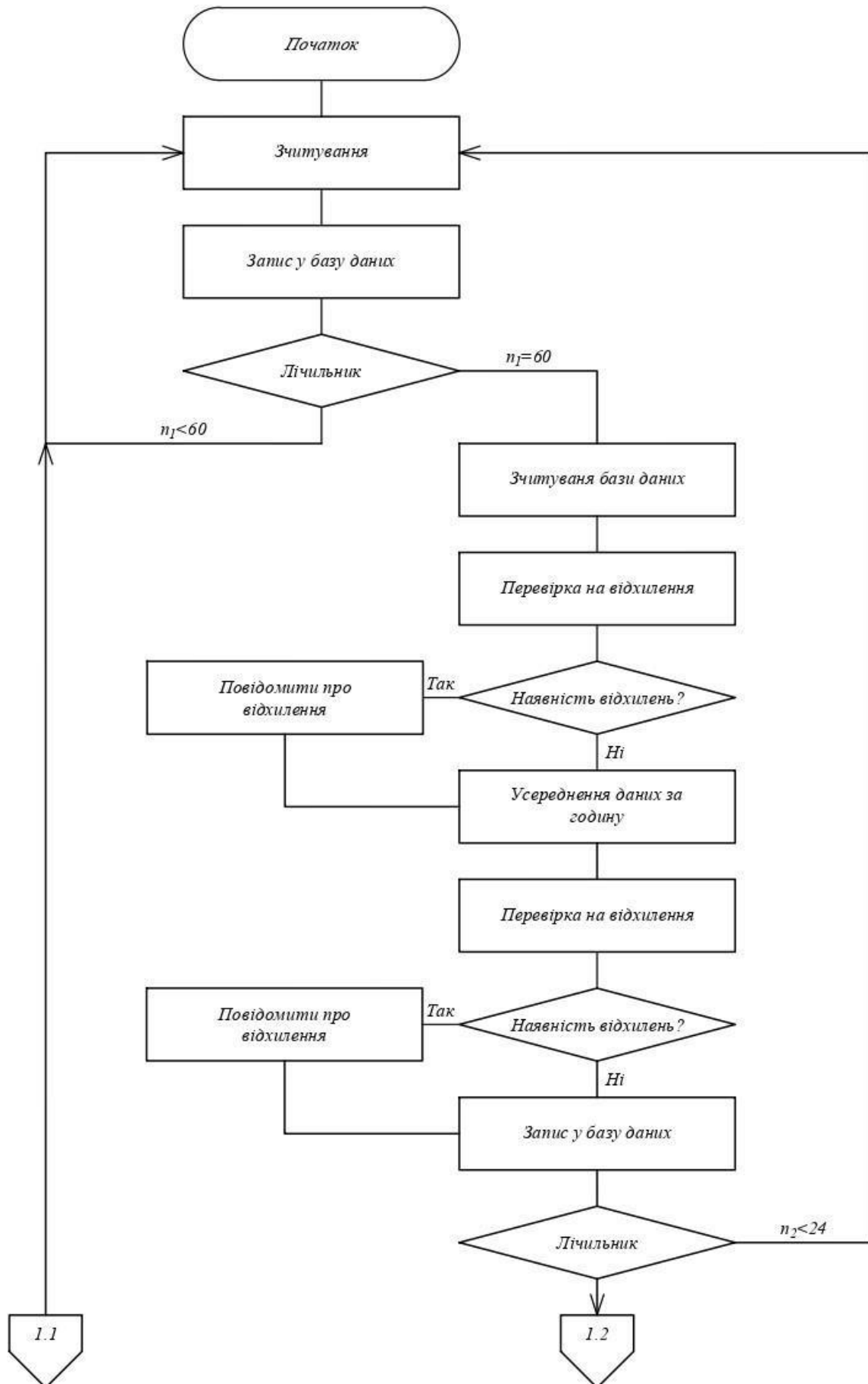
- вартість перших трьох етапів;
- згода власників;
- пошук інвесторів;

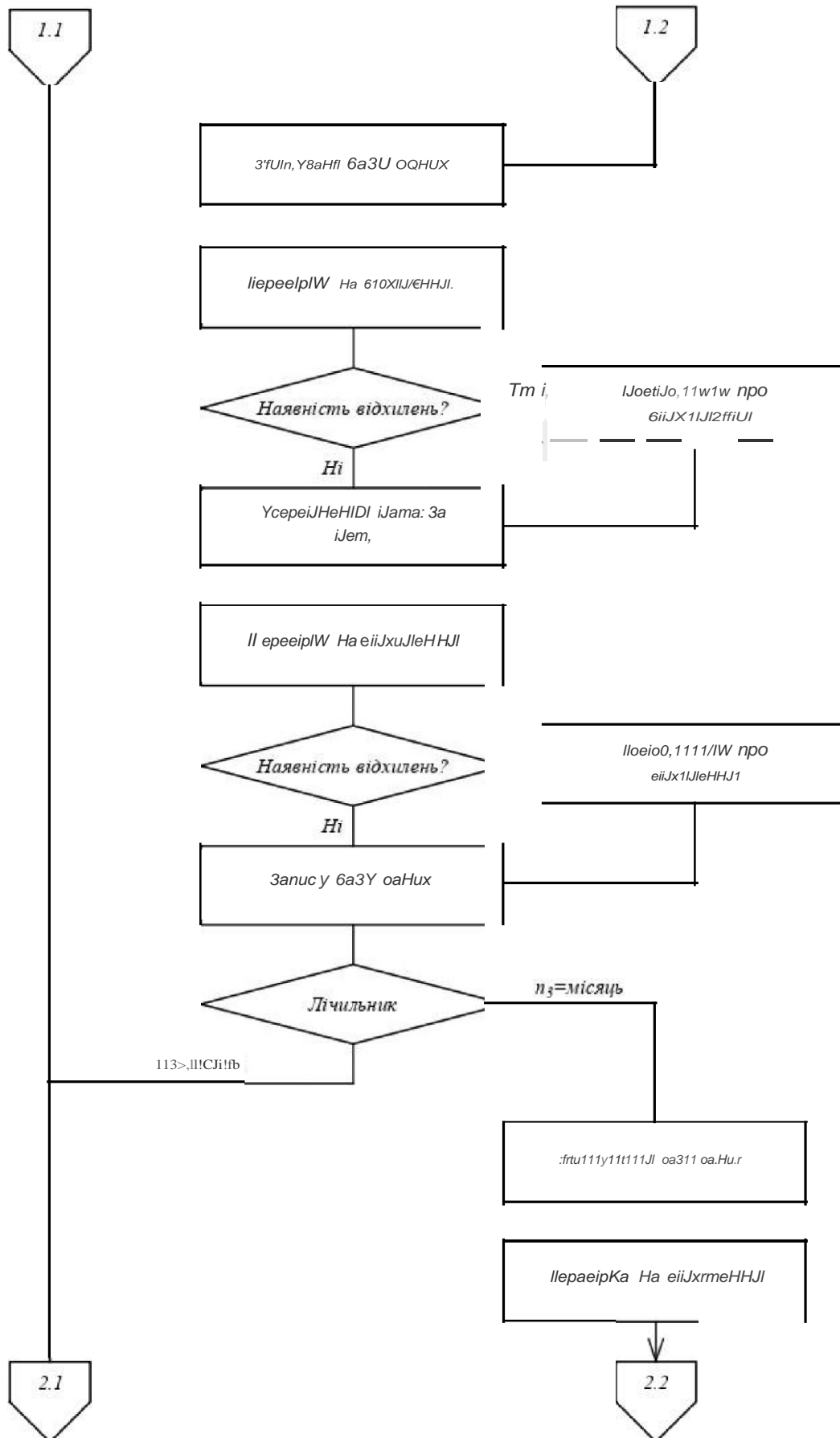
Переваги:

- + можлива окупність системи;
- + модернізація власного житла;
- + підвищення вартості житла;
- + зменшення споживання енергоресурсів;
- + швидкість обробки даних;
- + швидкість проведення модернізації;
- + комфорт жителів будинку;

Так можна сказати, що впровадження граничних обчислень для модернізації застарілих будівель є актуальним питанням. Ціна проекту з модернізації менша, ніж проект з повною перебудовою, а впровадження граничних обчислень в процесі модернізації будівлі, допоможе зменшити кількість використання енергії водночас з модернізацією. Також граничні обчислення допоможуть зібрати велику кількість інформації про стан будівлі, для аналізу типових проблем, а через те що більшість будівель типові, це допоможе розробити точний плани модернізації районів та скоротити витрати.

3.3 Алгоритм аналізу даних за допомогою граничних обчислень





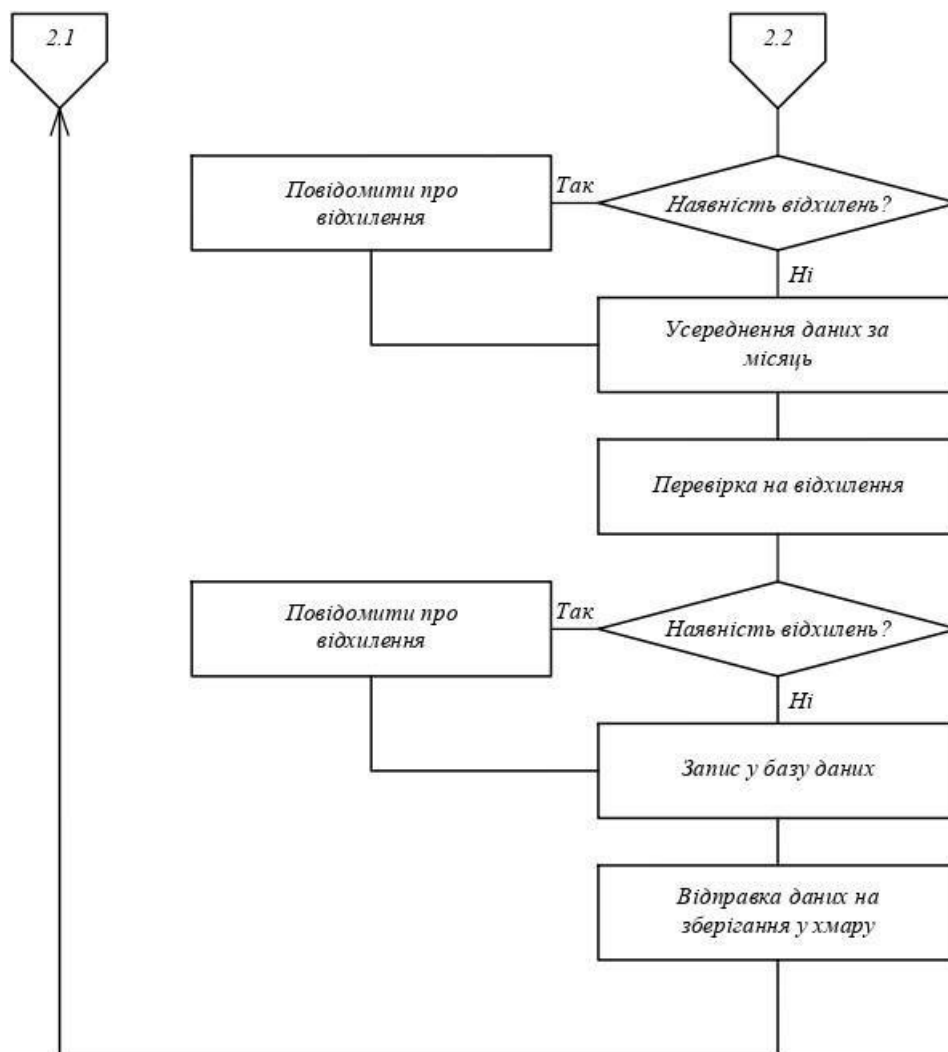


Рис. 3.9. Алгоритм аналізу даних за допомогою граничних обчислень

Як можна побачити з алгоритму: обробка, перевірка, первинне зберігання даних відбувається на граничному пристрої. Зчитування даних з датчика відбувається кожної хвилини. Алгоритм рахує кількість зчитувань, після відбувається перевірка даних на відхилення, а потім усереднювання даних які були отримані протягом одного часу та перевірка на погодинне відхилення.

Після перевірки на погодинне відхилення дані записуються до БД граничного пристрою. Лічильник рахує кількість записів та якщо дані були записані двадцять чотири рази, відбувається процес перевірки даних за день, а

після усереднення отриманих даних протягом дня. Далі – перевірка на відхилення.

Після перевірки на добове відхилення дані записуються до БД граничного пристрою. Лічильник рахує кількість записів та якщо дані були записані « n_3 =місяць», відбувається процес перевірки даних записаних протягом місяця, , а після усереднення отриманих даних. Далі – перевірка на відхилення.

Після перевірки на місячне відхилення дані записуються до БД граничного пристрою. Далі дані відправляються у хмару, для подальшого зберігання та більш детальної обробки.

Можливо зробити висновок, що якби використовувати хмару для постійного циклу запису та обробки інформації, то це могло навантажувати мережу. До цього ж, кількість записаної та переданої інформації до хмари, збільшує кількість витрат на користування нею.

Тому застосування граничних обчислень, є край необхідним для модернізації застарілих будівель, через те, що це знижує кількість витрачених коштів на отримання даних для модернізації.

РОЗДІЛ 4

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розрахунок вартості реалізації

Згідно загальної системи, розрахунок максимальної вартості однієї повної автоматизації моніторингу інженерних систем будівлі з використанням розподіленої обчислювальної парадигми вказано в таблиці 4.1, ціни взяті на 1.10.2021.

Табл. 4.1

Розрахунок вартості за всю систему

Назва продукту	Кількість	Ціна
Пристрій граничних обчислень: Atos BullSequana Edge	1	186000 грн
Загальна вартість системи	-	186000 грн

Для розрахунку вартості споживання системи електроенергії за 1 рік взято тариф на 1 жовтня 2021 року який встановлено на 1кВт/год ТОВ “Енерго Збут Транс” (Табл. 4.2)

Табл. 4.2

Тариф електроенергії

Спожита електроенергія	Ціна
До 20 тис. кВт/год	2,25грн (без ПДВ)
До 50 тис. кВт/год	2,15грн (без ПДВ)
До 100 тис. кВт/год	2,10грн (без ПДВ)
Від 100 тис. кВт/год	2,05грн (без ПДВ)

ПДВ складає 20% від загальної вартості.

Загальна спожита потужність складатиме:

$$M = \sum k \cdot W \cdot t \cdot T \quad (4.1)$$

Де W — споживана потужність приладу, t — середня кількість годин роботи приладу, T — кількість днів, k — кількість.

Підрахунок спожитої енергії:

1. Пристрій граничних обчислень Atos BullSequana Edge

$$1 \cdot 500 \cdot 24 \cdot 365 = 87600000$$

Підрахунок спожитої електроенергії за рік

Назва продукту	Кількість	W	t	T	$W \cdot t \cdot T$
Atos BullSequana Edge	1	500 Вт	24	365	87600 кВт
Загальне значення	-	-	-	-	87600 кВт

Загальна вартість складатиме:

$$B_1 = M \cdot T_r \cdot 0.2 \quad (4.2)$$

Де T_r — тариф електроенергії.

Відповідно до загальної спожитої потужності (Табл. 4.3) та формули 4.2:

$$B_1 = 87600 \cdot 2.10;$$

$$B_1 = 183960;$$

Тобто при роботі такої системи без зупину за 1 рік ціна за електроенергію складає 220752 грн (вартість вказана з урахуванням ПДВ).

4.1 Розрахунок строків окупності системи

Ціна використання хмарних обчислень, з таким же параметрами, коштує 27 грн 50 копійок (з ПДВ) за годину обчислень. В рік 240900 грн.

Різниця яку можна отримати завдяки використанню граничного пристрою становить:

$$P = B_2 - B_1 \quad (4.3)$$

Де B_1 — вартість використання граничного пристрою протягом року,
 B_2 — вартість використання хмарних обчислень протягом року.

$$P = 240900 - 220752;$$

$$P = 20148(\text{грн}).$$

Строки окупності граничного пристрою становить:

$$T = C / P \quad (4.4)$$

Де C — ціна граничного пристрою, P — різниця яку можна отримати завдяки використанню граничного пристрою становить

$$186000/20148 = 9(\text{років})$$

При розрахунках строків окупності системи, не було використано кількість збереженої енергії, що передбачується, завдяки впровадженню граничного пристрою. Ці данні індивідуальні, тому кількість років може бути зменшена на 10-30%.

Висновок

У даній магістерській роботі розглянуті питання створення системи автоматизації та диспетчеризації основних інженерних мереж будинку з використанням технології «граничні обчислення». Також в роботі було зображено використання технології граничних обчислень у квартирі та запропоновано спосіб модернізації застарілих будівель за допомогою даних які були проаналізовані граничним пристроєм.

В ході виконання роботи було проаналізовано велику кількість сучасних методів обробки та зберігання даних, в результаті чого, для використання в даній дипломній роботі було обрано спосіб граничних обчислень, який повністю відповідає вимогам подібних систем, а також має достатню кількість застосувань у світі, аби почати впровадження в Україні. Така система є гнучкою до змін та вона вирішує питання які з'являються при зміні постачальників ресурсів.

У роботі було розроблено схеми розміщення та підключення граничного пристрою до датчиків IoT та шаф автоматики інженерних систем будинку. Наведені переваги граничних обчислень над хмарними, зроблено підбір основних квартирних та будинкових приладів автоматизації та диспетчеризації.

В економічному розділі було розраховано вартість реалізації проекту та строки окупності системи. Окупність будинкової системи можливе протягом 9 років, але при розрахунках не було використано кількість збереженої енергії, що передбачується, завдяки впровадженню граничного пристрою. Оскільки ці дані індивідуальні до кожного об'єкту, тому кількість років окупності може бути зменшена на 10-30%.

Список використаних джерел

1. Інженерні системи будівель: призначення, відповідні технічні приміщення. Системи опалення: загальна схема, класифікація, характеристика теплоносіїв, нагрівальні прилади. [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/5118077/page:6/>.
2. Sustainable Design and Build. Building, Energy, Roads, Bridges, Water and Sewer Systems, 2016. – 450 с.
3. Davis P. Advances in Thermal Energy Storage Systems / Patrick Davis., 2020. – 775 с.
4. Industrial Edge [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/industrial-edge.html>.
5. Introduction to Edge Computing in IIoT, 2018. – (Edge Computing Task Group).
6. Карліні С. Передумови та переваги впровадження крайових обчислень / Стівен Карліні. – №226. – С. 8.
7. Способы решения проблем старого жилого фонда в Украине [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://domik.ua/novosti/v-minregione-razrabatyvayut-zakonoproekt-o-rekonstrukcii-domov-starogo-zhilogo-fonda-n257039.html>.
8. Parnofiello M. How Smart Cities Are Deploying Edge Computing [Електронний ресурс] / Matt Parnofiello. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://statetechmagazine.com/article/2019/12/how-smart-cities-are-deploying-edge-computing>.
9. Паначенко Л. Что мешает сносить аварийные хрущевки Реконструкция устаревшего жилья – снова на повестке дня у власти и девелоперов [Електронний ресурс] / Леся Паначенко. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://mind.ua/ru/publications/20230679-koleso-sansary-chno-meshaet-snosit-avarijnnye-hrushchevki>.

10. Qian L. Cloud, Edge, and Mobile Computing for Smart Cities / L. Qian, G. Juan, Y. Jingchao. – Beijing Institute of Surveying and Mapping, Beijing, 2021. – 795 с.
11. Gur I. 21st-century Smart Cities with 5G and Edge Computing [Электронный ресурс] / Ido Gur. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.saguna.net/21st-century-smart-cities-with-5g-and-edge-computing/>.
12. Floyer D. The Vital Role of Edge Computing in the Internet of Things [Электронный ресурс] / Floyer – Режим доступа до ресурсу: <https://wikibon.com/the-vital-role-of-edge-computing-in-the-internet-of-things/>.
13. Sinha D. Edge Computing is Essential to Building Smarter and Safer Spaces [Электронный ресурс] / Debraj Sinha. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://developer.nvidia.com/blog/edge-computing-is-essential-to-building-smarter-and-safer-spaces/>.
14. Лас-Вегас — не только город развлечений, но и город будущего [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.computerworld.ru/articles/Las-Vegas---ne-tolko-gorod-razvlecheniy-no-i-gorod-buduschego>.
15. Sood M. Reviving smart cities with edge computing and 5G [Электронный ресурс] / Manish Sood. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.smartcitiesworld.net/opinions/opinions/reviving-smart-cities-with-edge-computing-and-5g>.
16. Edge computing use case examples [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://stlpartners.com/edge_computing/10-edge-computing-use-case-examples/.
17. Додонов А. Модернизация существующих зданий и применение высокоэффективных стандартов энергетической эффективности / Андрей Додонов. – 2019.

18. Шовкопляс С. Тепловая модернизация многоэтажек: факторы влияния [Электронный ресурс] / С. Шовкопляс – Режим доступа до ресурсу: <https://aw-therm.com.ua/teplovaya-modernizaciya-mnogoetazhek-factory-vliyaniya/>.